

**DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN UTILIZANDO SISTEMAS
MULTI-AGENTE (SMA) APLICADO AL JUEGO DE LA CERVEZA EN EL
SOFTWARE ANYLOGIC®**

JUAN ALEJANDRO URIBE VÁSQUEZ

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
MEDELLÍN
2015**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN UTILIZANDO SISTEMAS
MULTI-AGENTE (SMA) APLICADO AL JUEGO DE LA CERVEZA EN EL
SOFTWARE ANYLOGIC®**

JUAN ALEJANDRO URIBE VÁSQUEZ

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero de Producción

Asesor:

**Sergio Augusto Ramírez Echeverri
Ingeniero de Producción**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
MEDELLÍN
2015**

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, Junio de 2015

*Doy Gracias a mi familia, Profesores y amigos que me apoyaron en todo mi
proceso de formación.*

Juan Alejandro Uribe Vásquez

AGRADECIMIENTOS

A las personas que aportaron sus conocimientos y el apoyo profesional necesario para la ejecución de este proyecto. Entre ellas incluyo al Departamento de Ingeniería de producción, mis colegas de trabajo y a mi familia.

A todos muchas gracias por la paciencia y la motivación que me brindaron durante este proceso.

Sergio A. Ramírez, Ingeniero de producción, Magister en Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, profesor de la Universidad EAFIT y asesor de este Proyecto de Grado, Muchas gracias por su apoyo, soporte y paciencia durante todo el desarrollo del mismo.

Juan G. Arrieta, Ingeniero de Producción, Profesor de la Universidad EAFIT, Gracias por su tolerancia y paciencia ante las situaciones y dificultades que se me presentaron durante todo este proceso.

A todas las personas que se involucraron directa e indirectamente para que este logro fuera alcanzado, mis más sinceros agradecimientos.

CONTENIDO

GLOSARIO	12
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. IMPORTANCIA DEL PROYECTO	22
4. OBJETIVOS	23
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
5. ALCANCE	24
6. METODOLOGÍA PROPUESTA	25
7. INDICADORES	26
8. POSIBLES BENEFICIARIOS	27
9. MARCO TEÓRICO	28
9.1. LOS PROBLEMAS DE LA TOMA DE DECISIONES EN LAS REDES DE TRABAJO EMPRESARIALES.....	28
9.2. ESTADO DEL ARTE: MODELACIÓN Y SIMULACIÓN CON AGENTES.....	29
9.2.1. Introducción al agente y sistemas multi-agentes (SMA).....	29
9.2.2 El sistema multi-Agente (S.M.A.).....	37
9.3. LA SIMULACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO CON AGENTES.....	39
9.3.1. Intereses que hay con el enfoque de agentes.....	40
9.3.2. Analogía entre la cadena de suministro y los sistemas multi-agente.....	40
9.3.3. Modelación Basada en Agentes y simulación de la cadena de suministro.....	44

9.3.4. Revisión de la literatura sobre simulación y modelación de la cadena de suministro basado en agentes.....	48
9.3.5. Conclusiones y resumen de los proyectos.....	59
9.4. LA SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS Y LA CADENA DE SUMINISTRO.....	63
9.4.1. Simulación con Dinámica de sistemas.....	63
9.4.2. La simulación de la cadena de suministro con Dinámica de Sistemas.....	65
9.5. DIFERENCIA ENTRE LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES Y DINÁMICA DE SISTEMAS	66
9.5.1. Bloque básico de construcción: bucles de retroalimentación vs Agentes.	69
9.5.2. Unidad de análisis: la estructura frente a las normas	69
9.5.3. Nivel de modelado: macro vs micro	70
9.5.4. Perspectiva: De arriba hacia abajo vs de Abajo hacia arriba	71
9.5.5. Adaptación: cambio de estructura dominante vs cambio de estructura.....	71
9.5.6. Manejo del Tiempo: continuo vs discreto.....	72
9.5.7. Formulación matemática: las ecuaciones diferenciales e integrales vs la lógica.	72
9.5.8. Origen de la dinámica: los niveles vs los eventos	73
10. ESTRUCTURA DEL MODELO “JUEGO DE LA CERVEZA” CON UN ENFOQUE DE SIMULACION BASADO EN AGENTES (SBA).....	75
10.1. LOS DIFERENTES MODELOS DE SIMULACIÓN Y SUS NIVELES DE ABSTRACCIÓN	75
10.2. DESCRIPCIÓN E INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN CON SISTEMAS MULTI-AGENTES (SMA) Y SU RELACIÓN CON EL “JUEGO DE LA CERVEZA”	78
10.2.1. Descripción e introducción a la simulación multi-Agentes y su relación con la cadena de suministro y el “Juego de la Cerveza”	78
10.2.2. Criterios para desarrollar un modelo de Sistemas multi-Agentes (SMA).	80
10.3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE ANYLOGIC® Y SU RELACIÓN CON LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES.	83
10.4. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO DEL “JUEGO DE LA CERVEZA” CON SISTEMAS MULTI-AGENTES EN EL SOFTWARE ANYLOGIC®.....	86

10.4.1. Descripción del “Juego de la Cerveza”	86
10.4.2. Explicación general del modelo del “Juego de la Cerveza” en el software AnyLogic.....	87
10.5. ASIMILACIÓN, ANÁLISIS Y EXPLICACIÓN DE LOS AGENTES, VARIABLES Y PARÁMETROS QUE ESTÁN ADSCRITOS AL “JUEGO DE LA CERVEZA” ENFOCADO A LA SIMULACIÓN CON SISTEMAS MULTI-AGENTES EN EL SOFTWARE ANYLOGIC®	89
11. RESULTADOS.....	102
11.1. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO.....	102
11.1.1. Escenario No.1: (Simulación autónoma Basada en Sistemas multi agentes – Modo Computadora)	103
11.1.2. Escenario No.2: (Simulación autónoma Basada en Sistemas multi agentes – Modo Jugador)	106
12. CONCLUSIONES.....	110
13. RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
BLILIOGRAFIA	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los proyectos de investigación y simulación basada en agentes para la cadena de suministros.	62
Tabla 2. Extractos de las principales diferencias entre la dinámica de sistemas y el enfoque de simulación basada en agentes.....	68
Tabla 3. “Elementos” usados en dicho software para la construcción del modelo.	94
Tabla 4. Datos de entrada Escenario No.1	104
Tabla 5. Datos de Entrada escenario No.2	106
Tabla 6. Datos ingresados para la simulación en modo jugador (Escenario No.2)	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa mental: La definición y la tipología de agente	36
Figura 2. Mapa mental: Analogía entre la cadena de suministro y los sistemas multi-agentes. Punto 9.3.2. del presente proyecto.....	43
Figura 3. Escala de los niveles de abstracción y los modelos de simulación	78
Figura 4. Sistemas principales del modelo	95
Figura 5. Detalle Sistemas principales del modelo en el software Anylogic.....	96
Figura 6. Esquema del agente principal del modelo en el Software Anylogic	98
Figura 7. Esquema del agente interno (Player) del modelo en el Software Anylogic	100
Figura 8. Esquema de la Simulación principal del Modelo (Simulation Main)	101
Figura 9. Esquema de la Simulación del Modelo en modo Computadora (Escenario No.1)	104
Figura 10. Modelo en ejecución - modo Computadora (Escenario No.1)	104
Figura 11. Resultados finales del Modelo – Modo Computadora (Escenario No.1)	105
Figura 12. Esquema de la Simulación del Modelo en modo Jugador (Escenario No.2)	107
Figura 13. Modelo en ejecución Modo Jugador (Escenario No.2)	107
Figura 14. Resultados finales del Modelo – Modo Jugador (Escenario No.2)	108

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Estructura del Modelo del Juego de la Cerveza

ANEXO B. Estructura del Modelo y códigos de programación del juego de la cerveza

GLOSARIO

CADENA DE SUMINISTRO: Subsistema dentro del sistema organizacional que abarca la planificación de las actividades involucradas en la búsqueda, obtención y transformación de productos.

AGENTES: Son entidades inteligentes, equivalentes en términos computacionales a un proceso del sistema operativo que existen dentro de cierto contexto o ambiente y que pueden interactuar de manera autónoma y flexible a través de protocolos de comunicación.

SISTEMAS MULTI-AGENTES (SMA): Es un sistema en el que múltiples agentes autónomos, heterogéneos, interactúan entre sí y con el entorno, cada uno buscando sus propias metas, actuando, enviando mensajes y modificándose. Cada agente tiene una información o capacidad incompleta para solucionar el problema no hay un sistema global de control y estos pueden decidir dinámicamente qué tareas deben realizar y quien realizar cada tarea.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL (AI): Es un área multidisciplinaria que, a través de la informática, la lógica y la filosofía se esfuerza por representar y construir las capacidades inteligentes involucradas en las distintas entidades individuales.

Rama de la informática que desarrolla sistemas computarizados inteligentes, es decir, sistemas que muestran las características que pueden asociarse a la inteligencia en lo que se refiere al comportamiento humano: Comprensión del lenguaje, aprendizaje, razonamiento, resolución de problemas, etc.

Rama de la computación que relaciona un fenómeno natural con una analogía artificial a través de programas de computador

INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA (AID): Es la rama de la Inteligencia Artificial (IA) que estudia sistemas inteligentes formados por un conjunto de varios agentes. Esta intenta resolver problemas en los cuales un patrón de conducta colectiva es más eficiente que una conducta individual.

OBJETO (PROGRAMACIÓN): Es un componente de software con estructura similar a los objetos del mundo real. Está compuesto por un juego de datos (propiedades y/o atributos) que son las variables que describen las características esenciales del objeto. También consiste en un juego de métodos (conductas) que describen como el objeto se comporta.

OBJETOS ACTIVOS (ACTIVE OBJECTS): El modelo de objetos activos describe un objeto como una entidad con vida propia que actúa cada vez que recibe un mensaje. La actuación puede ser cualquiera de las siguientes operaciones: actualizar/modificar el estado actual, aceptar mensajes (de otros objetos), mandar mensajes (a otros objetos) y crear/inicializar el objeto.

OBJETOS PASIVOS (PASIVE OBJECTS): Describe un objeto como un conjunto de datos que se modifica bajo control de una administración externa al objeto. Es como si algún interpretador simulase el comportamiento del objeto.

DIAGRAMAS DE ESTADO (STATECHARTS): Los diagramas de estado muestran el conjunto de estados por los cuales pasa un objeto durante su vida en una aplicación en respuesta a eventos (por ejemplo, mensajes recibidos, tiempo rebasado o errores), junto con sus respuestas y acciones. Se utilizan principalmente modelando agentes para definir su comportamiento.

DIAGRAMAS DE ACCIÓN (ACTION CHARTS): El Diagrama de Acción tiene la función de indicar la especificación de las estructuras de control repetitivas y de condición. Pueden ser utilizados en el modelado de Eventos Discretos (DEVS) o el modelado por Agentes, por ejemplo, para formular la lógica de decisiones usadas por el agente.

DIAGRAMAS DE FLUJO: Es la representación gráfica del algoritmo o proceso, Cada paso del proceso es representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa del mismo y ofrece una descripción visual de las actividades implicadas mostrando la relación secuencial ente ellas. Son la construcción básica utilizada para definir el proceso de modelado de Eventos Discretos.

RESUMEN

La simulación basada en sistemas multi-agentes (SMA) es un nuevo método de simulación que permite tratar de una manera sencilla la complejidad, la emergencia, y la no-linealidad típica de ciertos fenómenos en diversos ámbitos profesionales (medicina, bolsa, comercio electrónico, abastecimiento de la cadena de suministro, etc.). Aunque esta es una herramienta bastante habitual en las ciencias físicas y naturales aproximadamente hace tres décadas, ha sido utilizada recientemente en las ciencias de la ingeniería.

Uno de las características más llamativas de la simulación basada en sistemas multi-agentes (SMA) es que permite explicar cómo emerge el comportamiento global del sistema a partir de las acciones individuales de los objetos que lo componen y a su vez como las creencias, deseos y oportunidades de estos son afectados por dichas estructuras emergentes.

En este proyecto de grado definiremos la simulación basada en sistemas multi-agentes (SMA) ilustrándola a partir de un ejemplo clásico: El juego de la Cerveza, el cual simularemos en el software AnyLogic®, compartiendo una breve introducción a este nuevo concepto de simulación y afrontando problemas existentes en la toma de decisiones asociadas a la cadena de suministro, permitiendo caracterizar este método de simulación (SMA) desde los siguientes puntos de vista: autonomía, comunicación, aprendizaje y toma de decisiones determinadas por el contexto.

PALABRAS CLAVE

Sistemas multi-agentes (SMA), Cadena de suministros, Modelación, Simulación, Juego de la Cerveza.

ABSTRACT

The simulation based on multi-agent systems (SMA) is a new simulation method that can treat in a simple way the complexity , emergence , and the typical non-linearity of certain phenomena in various professional fields (medicine bag eCommerce , providing supply chain , etc.) . Although this is a fairly common tool in the physical and natural sciences for some time, has recently been used in the engineering sciences.

One of the most striking features of the simulation based on multi-agents systems (SMA) is emerging that examines the overall behavior of the system from the individual actions of the objects that compose it and in turn as beliefs, desires and these opportunities are affected by these emergent structures .

In this graduation project I will define simulation based multi-agent (SMA) illustrating it from a classic example systems: The Beer Game, which simulate in AnyLogic ® software, sharing a brief introduction to this new concept of simulation and addressing problems in decision making related to supply chain allowing we characterize this from the following points of view: autonomy, communication, learning and decision-making determined by the context

KEYWORDS

Multi- agents Systems (SMA), Supply Chain, Modeling, Simulation, Beer Game.

INTRODUCCIÓN

La simulación basada en sistemas multi-agentes (SMA) es una herramienta de simulación proveniente de la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), el cual de manera sencilla trata la complejidad, la emergencia, y la no-linealidad de algunos fenómenos en diversos ámbitos profesionales (medicina, bolsa, comercio electrónico, abastecimiento de la cadena de suministro, etc.). Aunque esta es una herramienta bastante habitual en las ciencias físicas y naturales, está siendo utilizada recientemente en las ciencias de la ingeniería.

Definiendo la simulación basada en sistemas multi-agente (SMA) podemos decir que es un sistema en el que múltiples agentes autónomos, heterogéneos, interactúan entre sí y con el entorno, cada uno buscando sus propias metas. Cada agente tiene una información o capacidad incompleta para solucionar el problema, y estos pueden decidir dinámicamente quién y qué tareas deben realizar, lo que conlleva a comportamientos emergentes del sistema, los cuales son dependientes de las distintas interacciones entre dichos agentes. De hecho, el SMA puede componerse de un grupo de agentes que pueden tener una función específica dentro de una estructura organizacional. Diferentes tipos de agentes pueden representar diferentes objetos, con una diferente autoridad y capacidad, y realizar diferentes funciones o tareas. Ellos pueden dinámicamente ser organizados basados sobre un control o estructura de conexión.

En este proyecto explicaremos como funciona este modelo de simulación (SMA) con un juego ya muy conocido en el área académica, el “juego de la cerveza”, el cual simularemos usando el software Anylogic® considerando este (juego de la cerveza) como un escenario bastante didáctico para afrontar los distintos problemas que pueden surgir en la cadena de suministros.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, El entorno industrial se encuentra permeado significativamente por los cambios culturales, políticos y sociales, que evolucionan constantemente. Para lograr asimilar estos cambios se requiere de una estructura profesional que permita a los actuales y futuros ingenieros competir de maneras mucho más eficientes y eficaces en el mundo globalizado, de forma que se actualicen conocimientos en tiempo real y se perciban nuevas herramientas para asimilar actividades prácticas que permitan observar lo teórico de formas mucho más comprensible, incentivando el conocimiento de los conceptos básicos, en este caso de la Cadena de Suministro, pero puesto en marcha con teorías e investigaciones recientes de simulación.

En la Universidad EAFIT varios proyectos de grado han sido enfocados a recopilar información para desarrollar actividades lúdicas para el aprendizaje en diferentes áreas afines del Programa de Ingeniería de Producción, en particular en lo que concierne a la Cadena de Suministro, utilizando como referente particular el Juego de la Cerveza (Coral Salazar & Zuleta Muñoz, 2010). Con este proyecto se desarrollará un modelo de Cadena de suministro con este mismo juego, utilizando un enfoque diferente al manejado e investigado hasta la fecha (Simulación con sistemas multi-agentes (SMA) (Inteligencia Artificial Distribuida, IAD).

La tecnología de agentes / sistemas multi-agente (SMA) ha permitido el desarrollo de múltiples aportes en la resolución de problemas en diversos dominios (comercio electrónico, subastas electrónicas, medicina, bolsa, etc.), donde aproximaciones tradicionales no proporcionan soluciones suficientemente satisfactorias. En concreto, la industria de fabricación es uno de los dominios donde la tecnología de

agentes proporciona una forma de resolver problemas que son inherentes a los sistemas distribuidos .

Para nuestros propósitos se utilizará el software Anylogic® de la empresa Xj Technologies¹, en el cual se definirán las características y variables críticas del juego de la cerveza, para luego realizar las corridas correspondientes de acuerdo con una serie de escenarios planteados, y de ahí desarrollar los análisis correspondientes.

¹ XJ Technologies es un proveedor de herramientas de simulación dinámica, tecnologías y servicios de consultoría para aplicaciones empresariales, también diseña, desarrolla y comercializa el software AnyLogic®. <http://www.xjtek.com/>

2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, las empresas a causa de la globalización exigen profesionales con mayores capacidades, adaptables al cambio y al surgimiento de nuevas tecnologías y aplicaciones. Actualmente estas compañías trabajan de forma conjunta con sus partes para lograr los objetivos y logros esperados de forma que se disminuyan en gran medida los retrasos en las entregas, manteniendo estable los costos generales y de transporte. Esto se logra integrando los eslabones de la cadena de suministro, y asimilando de manera inteligente y dinámica cada uno de estos entre la empresa.

En las últimas tres décadas la inteligencia artificial Distribuida (IAD) y derivada de esta la simulación basada con sistemas multi-agentes (SMA) ha cogido un fuerte auge para la programación y el desarrollo evolutivo de las ciencias de la programación y otras ingenierías, las cuales han aplicado estos estudios como complemento en sus investigaciones, lo que ha generado un sinnúmero de publicaciones. Se reconoce que es algo que tiene mucho campo de aplicación y está aún en desarrollo, por eso, es este el tema que se estudiará desde un principio para realizar este proyecto permitiendo además a los estudiantes de Ingeniería de Producción la introducción de nuevos conceptos de simulación que no han tenido una gran divulgación y aplicación en el entorno cercano..

Para la simulación de cadenas de suministro la tendencia más desarrollada y aplicada en estos últimos años es la de emplear modelos de simulación con sistemas multi-agentes (Inteligencia Artificial Distribuida, AID), dada la ventaja de éstos para permitir que cada agente (es decir cada empresa participante en una cadena de suministro) tome decisiones independientemente en los modelos de simulación que están enfocados en este aspecto. Autores como Jose L. Caderón y Francisco C. Lario (Calderón & Lario, 2006) han realizado una revisión de los

artículos y ponencias que trataron el tema de Simulación de Cadenas de Suministro entre los años 2002 y 2006, con el fin de determinar las áreas de desarrollo de las nuevas aplicaciones y enfoques de la cadena de suministro, revisando más de 70 artículos considerándose solo para este análisis los 40 artículos que aportaban nuevos enfoques y/o aplicaciones de simulación donde concluyen una tendencia investigativa y aplicativa marcada con estos nuevos métodos de simulación (SMA).

Para este caso se ha utilizado el Juego de la Cerveza como modelo a simular, ya que es comúnmente conocido y estudiado en múltiples investigaciones, incluso en simulaciones basadas con sistemas multi-agentes (SMA), pero nunca aplicadas y analizadas con minuciosidad en el software AnyLogic®, el cual es de los pocos software en la actualidad con flexibilidad para este tipo de simulación y esto teniendo en cuenta que es un problema fácilmente comprensible pero también lo suficientemente inestable como para ser analizado con este enfoque de simulación aún poco estudiado.

3. IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La finalidad de este proyecto es desarrollar y analizar un modelo de simulación del juego de la cerveza utilizando sistemas multi-agentes (SMA) con el software Anylogic®. Esto nos llevará a observar su comportamiento con un enfoque de simulación completamente distinto y a descubrir los diferentes resultados que pueden ser obtenidos a partir de este nuevo método. Esto es un aporte importante ya que hasta la fecha no se ha desarrollado en el departamento de ingeniería de producción un proyecto de grado que utilice o aplique este tema (SMA).

Este proyecto también Posibilita redimensionar la simulación del juego de la cerveza bajo un enfoque completamente distinto al ya conocido (Dinámica de sistemas) con una herramienta aún no utilizada por la Universidad EAFIT (AnyLogic®) abriendo un espacio para la educación continua de los egresados de la Universidad EAFIT al acercarlos a temáticas que tienen actualmente un uso tanto investigativo como aplicativo y que aún no hay una cantidad considerable de registros de estudio relacionados con este tema y este software (AL) a nivel nacional.

También se considera que este trabajo traerá como resultado positivo el desarrollo y divulgación de un conocimiento que en nuestro medio no ha sido aplicado con el rigor científico necesario, donde los estudiantes interesados en esta temática tendrán la libertad de tomar propuestas de este trabajo y desarrollar investigaciones relacionadas con este nuevo enfoque de simulación (SMA).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y analizar un modelo de simulación del juego de la cerveza (en el área de la logística) utilizando sistemas multi-agentes (SMA) con el software Anylogic®.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las variables empleadas en un sistema multi-agente (SMA) para el juego de la cerveza con el software Anylogic®.
- Construir el modelo en el software Anylogic®, con sistemas multi-agentes (SMA).
- Obtener resultados bajo distintos escenarios de simulación y hacer un análisis comparativo entre los mismos.

5. ALCANCE

En este proyecto se desarrolla un modelo de simulación basado en sistemas multi-agentes (SMA) aplicado al juego de la cerveza en el área de la logística y cadena de suministro con el software Anylogic®, donde se definirán las variables y características del modelo en este tipo de enfoque (SMA) para después plasmar la simulación del mismo con un análisis de los resultados esperados.

6. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología que se llevará a cabo para el cumplimiento de los objetivos propuestos es la siguiente:

- Descripción de los diferentes modelos de simulación y los diferentes niveles de abstracción a la hora de realizar una modelación.
- Descripción e introducción a la simulación con sistemas multi-agentes y su relación con la cadena de suministro y el “Juego de la Cerveza”.
- Breve descripción del software Anylogic® enfocado a la simulación con sistemas multi-agente.
- Descripción del “Juego de la Cerveza” y explicación general del modelo de dicho juego enfocado a la simulación con sistemas multi-agentes en el software Anylogic®
- Análisis y explicación de los agentes, variables y parámetros que están adscritos al “juego de la Cerveza” enfocado a la simulación con sistemas multi-Agentes en el software Anylogic®
- Recolección de los elementos claves que hacen particular este tipo de simulación, para ejecutar la simulación y así posteriormente realizar un análisis de los resultados esperados.

7. INDICADORES

A continuación se mencionan algunos resultados esperados con este proyecto:

Generación de nuevo conocimiento:

Resultado/Producto esperado	Beneficiarios
El desarrollo de un conocimiento que en nuestro medio no ha sido aplicado con el rigor científico necesario.	Los estudiantes que tomen la propuesta de este trabajo y desarrollen investigaciones con base en las metodologías diseñadas.
Publicación de los resultados del proyecto	La comunidad científica en la medida en que se someta este trabajo a su crítica.

El Fortalecimiento de la comunidad científica:

Resultado/Producto esperado	Beneficiarios
Que la investigación pueda ser considerada para trabajos de grado en la escuela de ingeniería	Estudiantes de la escuela de Ingeniería

La apropiación social del conocimiento:

Resultado/Producto esperado	Beneficiarios
Publicación de artículos relacionados con la temática de la investigación.	Estudiantes de la escuela de Ingeniería

8. POSIBLES BENEFICIARIOS

Los principales beneficiarios del proyecto son todas las personas de la Universidad EAFIT que tomen la propuesta de este trabajo y desarrollen investigaciones con base en las aplicaciones descritas en este proyecto ya que la investigación puede ser considerada para futuros trabajos de grado en la facultad de ingeniería de Producción y/o la publicación de artículos relacionados con la temática propuesta (Simulación de la cadena de suministro basada en sistemas multi-agentes con el software Anylogic®).

9. MARCO TEÓRICO

9.1. LOS PROBLEMAS DE LA TOMA DE DECISIONES EN LAS REDES DE TRABAJO EMPRESARIALES

En la planificación de una empresa, la integración de todos los nodos de la empresa es necesaria. Esta integración no solo se aplica desde el flujo de materiales de proveedores de materias primas hasta la entrega del producto terminado, sino también a los flujos financieros y los flujos de información del mercado. Como se muestra en las publicaciones de D'Amours. (D'Amours, Montreuil, Lefrancois, & Soumis, 1999), y Min H. (Min & Zhoug, 2002), el éxito de la integración de la cadena de suministro se encuentra en la capacidad de los socios en distribuir la información y en la sincronización de sus actividades. Srinivasan ha demostrado que, en un ambiente justo a tiempo, el intercambio de información aumenta la ejecución de las entregas (Srinivasan, Sunder, & Mukhopadhyay, 1994).

Con el fin de garantizar un nivel de rendimiento óptimo en un ambiente dinámico, pueden ser utilizados los enfoques del tipo de sistema multi-agente (SMA). De hecho, la SMA se compone de un grupo de agentes que pueden tener una función específica dentro de una estructura organizacional. Diferentes tipos de agentes pueden representar diferentes objetos, con una diferente autoridad y capacidad, y realizar diferentes funciones o tareas. Ellos pueden dinámicamente ser organizados basados sobre un control o estructura de conexión.

La naturaleza de la gestión de la cadena de suministro tiene características que hacen que la tecnología de agentes sea adecuada para apoyar y colaborar en la gestión de la cadena de suministro. La SMA puede ser usada para realizar o modelar realmente tareas en la gestión de la cadena de suministro debido a las

similitudes de estos dos sistemas. Por ejemplo: i) una cadena de suministro consta de varias partes que trabajan en tareas de varias fases; un sistema multi-agente se compone de diferentes tipos de agentes con diferentes roles y funciones, ii) no hay autoridad única: el conocimiento es distribuido entre los miembros en la cadena de suministro, la toma de decisiones en la cadena de suministro es a través de la negociación multipartidista y la coordinación; los agentes son autónomos: son sensibles a registrar el cambio del medio ambiente, proactivos para tomar iniciativa propia y sociales para interactuar con los seres humanos y otros agentes; iii) la estructura de la cadena de suministros es flexible: esta puede ser organizada de múltiples formas para implementar distintas estrategias; el sistema de agentes es flexible, los agentes pueden ser organizados de acuerdo con el control y la conexión de las diferentes estructuras y iv) la cadena de suministro es dinámica: Las entidades podrán ingresar o salir de una cadena de suministro, los agentes pueden ser creados o desechados de un sistema Multi-agente. (Karimi, Lucas, & Moshiri, 2007).

9.2. ESTADO DEL ARTE: MODELACIÓN Y SIMULACIÓN CON AGENTES

9.2.1. Introducción al agente y sistemas multi-agentes (SMA)

La inteligencia artificial (IA) se esfuerza para representar, construir y entender las capacidades inteligentes involucradas en las distintas entidades individuales. . Como lo indica Ferber: “la alternativa a la inteligencia artificial distribuida (IAD) consiste en la distribución de los conocimientos en un grupo de entidades autónomas y en sus interacciones” (Ferber, 1999). La solución de problemas distribuidos, la solución de problemas paralelos y el SMA constituye una corriente importante de la investigación en la inteligencia artificial distribuida (IAD). El SMA se concentra en el estudio de la conducta colectiva que resulta de la organización y las interacciones entre agentes para la resolución de problemas.

La IA nace con el propósito de desarrollar una entidad capaz de exhibir comportamiento inteligente. Sus orígenes están condicionados por el logro de un 'robot' que pueda interaccionar con los humanos. De esta forma se entiende que una máquina es inteligente cuando puede afirmarse que presenta esa capacidad, y la 'máquina universal' de Turing, de 1937, ya pretendía evaluar tal habilidad.

Los esfuerzos de los primeros investigadores en IA (Turing, McCulloch, Shannon y Von Neumann) estaban dirigidos a responder la cuestión ¿pueden las máquinas pensar? No lograron grandes avances en esta línea, aunque sus discípulos, gracias a los avances de la informática sí pudieron construir los primeros desarrollos. No es sin embargo hasta la década de los noventa que la IA y la ID se confunden prácticamente, pues ambas están enfocadas a desarrollos eminentemente prácticos en los que en ocasiones confluían. Surge así la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), que realmente es la 'Inteligencia Artificial' actual.

No existe una definición universalmente aceptada para el término 'agente inteligente', debido a que desde el nacimiento de la IAD eran múltiples y muy variadas las aplicaciones que el concepto tenía: Lingüística, Robótica, Filosofía, etc. Sin embargo, existe un acuerdo generalizado sobre las características que debe poseer un agente. Así, podemos afirmar que un agente es una entidad física o virtual, autónoma, dotada de:

- Metas propias mínimas, que intenta alcanzar satisfactoriamente.
- Sensores, que recogen información de otros agentes y del entorno.
- Actuadores, que ejecutan las acciones con otros agentes y sobre el entorno.
- Recursos y herramientas de decisión.

Aunque el concepto de agente puede ‘confundirse’ con el de objeto de la ID, un análisis riguroso de la anterior lista confirma que es un término mucho más amplio. Los agentes se construyen sobre objetos, pero van mucho más allá en sus especificaciones. No todos los objetos pueden entenderse como agentes.

Un sistema en el que múltiples agentes autónomos, heterogéneos, interactúan entre sí y con el entorno, cada uno buscando sus propias metas, corresponde con lo que denominamos Sistema multi-agente, objeto de este trabajo.

9.2.1.1. La definición y la tipología de agente

9.2.1.1.1. Definición

Las obras reconocidas como precursores en el campo de la investigación de los agentes y el SMA son: i) el modelo de agente para la resolución de problemas mediante el envío de mensajes asíncronos (Hewitt, 1977), ii) el sistema de blackboard para el intercambio de información entre los agentes (Hayes-Roth, Erman, Lesser, & Reddy, 1980); iii) el protocolo de contrato neto para la asignación de tareas (Smith, 1980) y, iv) el Vehículo de control distribuido de banco de pruebas para evaluar alternativas de diseño de las redes de distribución para resolver problemas (Lesser & Corkill, 1983). Actualmente no existe un consenso en la literatura científica sobre la definición de un agente. En este sentido, la definición de Jennings N.R. es usada comúnmente dentro de la comunidad del SMA, la cual expresa que: “un agente es un sistema informático, situado en un ambiente que es capaz de tener acción autónoma flexible para hacer frente a sus Objetivos...” (Jennings, Sycara, & Wooldridge, 1998).

Según Wooldridge M. También se puede definir el concepto de un agente de acuerdo a las siguientes propiedades:

- Autonomía: un agente opera sin la intervención y acción directa de humanos o de otros (selección de tareas, toma de decisiones, etc.).
- Reacción: un agente percibe su entorno y reacciona de una manera adecuada a los cambios del mismo.
- Pro-actividad: Los agentes son capaces de actuar mediante la adopción de iniciativas impulsadas por sus objetivos.
- Habilidad social: Los agentes son capaces de interactuar con otros agentes a través de lenguajes de comunicación o reglas sociales.

La importancia concedida a las características expresadas anteriormente dependen de la aplicación y necesidades que se tengan (Wooldridge & Jennings, 1995). Los agentes tienen la capacidad de percibir la modificación de su entorno y realizar acción sobre este. Entre las posibles acciones, los agentes han de determinar las decisiones más adecuadas que pueden alcanzar sus objetivos. Además del dominio de aplicación, el medio ambiente, la interacción y la organización influenciada por el diseño del agente. Los tres principales enfoques tradicionales definidos como metodología general utilizada para construir los agentes son: *las arquitecturas de deliberación o cognitivas, las arquitecturas reactivas y arquitecturas híbridas.*

9.2.1.1.2. Tipología

- Agentes deliberativos o cognitivos

Son una representación explícita de sus ambientes y una representación explícita de otros agentes. Acorde a su arquitectura, estos agentes son capaces de tomar decisiones, colaborando y tomando acciones para satisfacer sus logros u objetivos

internos. Las decisiones son hechas por la vía del razonamiento lógico y basadas sobre la percepción que tienen del medio que los rodea.

Un modelo particular para construir un agente racional según RAO es el modelo de deseo-creencia-intención (Belief-Desire-Intention Model, BDI) (Rao & Georgeff, 1991).

- Las creencias representan los estados de motivación del agente sobre sí mismo y de otros agentes.
- Los deseos representan los estados de motivación del agente de acuerdo a los objetivos o las situaciones que le gustaría lograr.
- Las Intenciones representan el estado de deliberación a la que el agente optó para hacer un compromiso.

Según la información percibida por el medio ambiente, los agentes revisan las creencias, definen las diversas opciones (de sus deseos y sus intenciones actuales) y los filtros de las posibles opciones y actos basados en las intenciones asociadas. Numerosas implementaciones de arquitecturas para construir agentes BDI son presentadas en la literatura como: IRMA (Intelligence resource - Bounded Machine architecture) y otros trabajos más como PRS (Procedural reasoning system), etc.

A fin de crear agentes deliberativos o cognitivos, Shoham Propuso un paradigma de programación orientada a agentes (Agent Oriented Programming, AOP) (shoham, 1993), que declina en tres componentes: i) un lenguaje formal con una sintaxis y una semántica para definir el estado mental de los agentes, ii) un lenguaje de programación interpretado por los agentes de programación, iii) un proceso de identificación del agente etiológico para traducir el programa de agente en un sistema de archivo ejecutable. Cada agente se especifica en términos de: i) un

conjunto de capacidades, ii) un conjunto de creencias iniciales, iii) una serie de compromisos, y iv) un conjunto de reglas para estos compromisos.

➤ Agentes reactivos

Estos agentes reaccionan a una base de estímulo-respuesta. Su comportamiento es dirigido por una serie de normas en respuesta a los estímulos del medio ambiente. Estos agentes mantienen un modelo interno de su entorno. Ellos no tienen objetivos explícitos y suelen reducir el uso de comunicación y protocolos. Los agentes reactivos no poseen un comportamiento individual inteligente, pero si poseen un comportamiento inteligente que es desprendido de sus interacciones. Los primeros trabajos realizados acorde a este enfoque están relacionados con la arquitectura de Subsunción. Según esta arquitectura un agente tiene un conjunto de comportamientos que se organizan en una jerarquía de acuerdo a su complejidad. Un comportamiento puede inhibir cualquier acción de un comportamiento de nivel inferior.

La metáfora de las sociedades de insectos es ampliamente utilizado para definir sistemas de agentes reactivos (por ejemplo: la etología³). Dentro de estas sociedades de las actividades de los individuos se coordinan, sin exhibir la comunicación o el razonamiento complejo.

➤ Agentes Híbridos

³ Etología: (del griego ethos "costumbre") es la rama de la biología y de la psicología experimental que estudia el comportamiento de los animales en libertad o en condiciones de laboratorio.

Este tipo de agentes combina los dos enfoques de agentes, tanto el cognitivo como el reactivo. Estas arquitecturas para construir este tipo de agentes combinan los dos enfoques anteriormente mencionados y son basadas sobre una descomposición de “capas” del comportamiento para obtener una gestión más eficiente de los recursos de los agentes. El enfoque reactivo se utiliza para la realización de las actividades de reflejo en respuesta a los estímulos del medio ambiente, estas actividades no requieren un razonamiento complejo. El enfoque cognitivo se utiliza para la realización de actividades basadas en la planificación y la deliberación que requieren razonamiento complejo. La arquitectura de IntgeRRaP (integración de la conducta reactiva y la planificación racional) (Muller, 1998) es una arquitectura de capas:

La primera capa por encima del sistema de interfaz, es “la capa basada en el comportamiento” dedicada a la ejecución y control de la capacidad reactiva del agente. La segunda capa, que se encuentra por encima de la primera capa, es “la capa base” la cual se dedica a la generación de planes dirigidos por los objetivos del agente. La tercera capa, “la capa de cooperación”, se refiere a la planificación de cooperación para el modelado y la gestión de las interacciones con los otros agentes (por ejemplo: estrategias de negociación). Las capas de reacción, planificación y de modelado se encuentran entre la percepción y la acción. Las arquitecturas híbridas resultan ser más eficaces para estimar la capacidad de las decisiones y acciones de los agentes durante la fase de concepción de los sistemas multi-agente. A continuación en la . Se presenta un mapa mental de lo que esta descrito en el punto 9.2.1.1. Del presente proyecto.

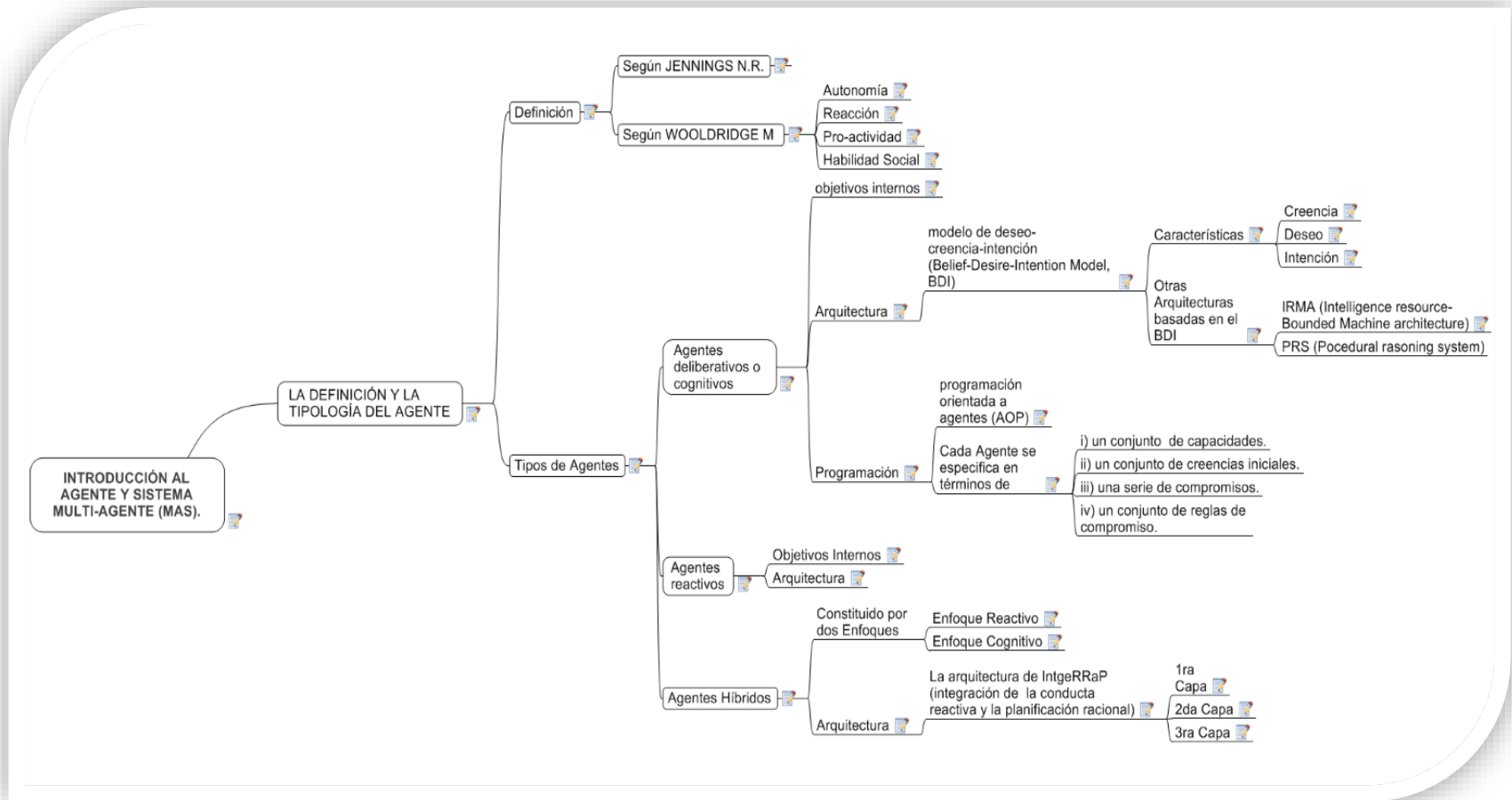


Figura 1. Mapa mental: La definición y la tipología de agente

9.2.2 El sistema multi-agente (S.M.A.)

Sea el que sea el dominio de aplicación o el grado de inteligencia de los agentes, un sistema multi-agente requiere la definición de diferentes elementos. Según (Ferber, 1999), un sistema multi-agente es un sistema constituido por los siguientes elementos.

- *Un medio (Environment) E*, en general, un espacio con una medida.
- *Un conjunto de objetos O*, los objetos son posicionados y para cada objeto es posible determinar una posición para su entorno. Los objetos pueden ser percibidos, creados, destruidos y modificados por los agentes.
- *Un conjunto de agentes A*, Los agentes son un subconjunto de Objetos (ACO) representando la actividad entre las entidades del sistema.
- *Un conjunto de relaciones o conexiones (Relations) R*, Las cuales conectan objetos y también agentes a otros agentes.
- *Un conjunto de Operaciones Op*, propiciando la posibilidad de que los agentes perciban creen, manipulen y destruyan Objetos.
- *Un conjunto de operadores* con la tarea de representar la aplicación de las operaciones y las reacciones del mundo para este intento de cambios, el cual ha sido llamado leyes del universo.

Para desarrollar un sistema multi-agente es necesario que haya agentes en diferentes lugares del ambiente y obligatoriamente que interactúen entre sí. Varias dimensiones son identificadas para el análisis y el desarrollo de un SMA: el agente, su entorno, las interacciones y la organización.

La preocupación del modelo de agente, más concretamente es la descripción interna de los agentes (arquitecturas, conocimiento, representación, etc.). Los modelos del medio ambiente corresponden a los campos en los que los agentes

deben evolucionar (por ejemplo: representación espacial). La preocupación de los modelos de interacción de la elaboración de un conjunto de normas en adecuación con la granularidad de un agente (Jerarquías, auto-organización, etc.).

Para describir una organización modelo AGR (Agente/grupo/rol) se consideran tres conceptos primitivos: un agente es una entidad activa y comunicativa que juega roles entre grupos. Un grupo está compuesto por un grupo de agentes y delimita estructuras organizacionales. El rol es la representación abstracta de la posición funcional de una agente en un grupo. El SMA son sistemas en los cuales demasiadas entidades se desarrollan en un ambiente común. Esta convivencia es realizada acorde a un enfoque cooperativo o competitivo (delegación de tareas, logro de metas comunes y recursos compartidos, etc.).

La relación entre agentes puede producir diversas formas de interacción (colaboración, conflicto, competición, negociación, coordinación, dependencia, etc.). La interacción entre agentes puede ser dirigida por las metas u objetivos compatibles o incompatibles, Los recursos (conflictivos o no) o la capacidad de los agentes (suficiente o insuficiente). Los agentes pueden interactuar incluso directamente de agente a agente o indirectamente por modificación del ambiente. La comunicación por envío de mensajes hace posible el desarrollo de varios tipos de relación en varios contextos de conflicto o no: desde la coordinación de negociación pasando por la colaboración o la cooperación.

Hay dos modos de comunicación diferenciados en el SMA: comunicación indirecta por medio del ambiente y comunicación directa. La comunicación indirecta es por medio de señales puestas en el ambiente que son detectadas e interpretadas por los agentes. La comunicación permite a los agentes intercambiar datos, información y conocimiento, por eso pueden coordinarse para lograr sus actividades. Este modo de interacción constituye uno de los aspectos fundamentales en la definición de la propiedad de sociabilidad. Una de las características sociales de un agente es su

capacidad de interactuar con los otros agentes, el envío, la recepción e interpretación de mensajes requiere el lenguaje de comunicación, estos lenguajes apoyan la comunicación entre los agentes.

Hay dos lenguajes principales para la comunicación.

- KQML (Knowledge Query Manipulation Language): desarrollado en 1993 por el consorcio DARPA-KSE
- ACL (Agent Communication language): Propuesto en 1997 por la FIPA

9.3. LA SIMULACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO CON AGENTES

En el contexto global competitivo, las compañías deben enfrentar numerosas decisiones relacionadas a la integración y el gerenciamiento o el manejo de sus organizaciones en la red de trabajo empresarial. Desde la administración y perspectiva en la toma de decisiones, lo que sienta las bases para una mayor complejidad dinámica, hasta una perspectiva operacional, dirigiendo el flujo de producto específico a través de una cadena de suministro lo que implica toma de decisiones complejas en un medio altamente rápido y estocástico.

Las propiedades que caracterizan al SMA parecen especialmente adaptadas para la representación y la simulación de estos sistemas de distribución y dinámica industrial. La simulación de la cadena de suministro basada en sistemas multi-agente hace esto posible para representar y evaluar el comportamiento de las entidades que componen la cadena, así como la existencia de interacción entre ellas.

9.3.1. Intereses que hay con el enfoque de agentes.

Las propiedades de los agentes son también adaptables para la representación y el estudio del comportamiento de las entidades que constituyen la cadena de suministro. La definición de cada estudio permite a las organizaciones o compañías estimar los riesgos o beneficios asociados con la múltiple toma de decisiones que se toman en los diferentes procesos. Estas organizaciones tienen objetivos, restricciones y diferentes configuraciones (Organización, toma de decisiones, etc.). Como sea, estas organizaciones son interdependientes para la mejora del rendimiento del sistema a nivel global.

La aplicación del SMA como un enfoque modelo en un contexto industrial hace posible representar los centros de decisión como redes de trabajo para la planeación y el control de los sistemas de manufactura. Los agentes basados en modelación nos permiten capturar la modelación dinámica natural de la cadena de suministro, facilitando el estudio de la correcta coordinación de los recursos asociados con la interacción de las múltiples compañías.

9.3.2. Analogía entre la cadena de suministro y los sistemas multi-agente.

La cadena de suministro y el SMA pueden ser definidas como redes de trabajo de entidades las cuales cooperan para el logro de objetivos comunes e individuales, recursos compartidos, así como también solución de problemas; estos problemas exceden sus capacidades individuales de conocimiento. En general, Yuan Y (Yuan & Liang, 2002) nota las siguientes analogías entre cadena de suministro y el SMA:

- *La multiplicidad de los agentes actuantes:* varios actores en la cadena de suministro realizan en común varias tareas de producción y negocios; un SMA está compuesto de múltiples agentes con diferentes papeles y habilidades;

- *Las propiedades de la entidad:* el actor de la cadena de suministro tiene metas, medios y conocimientos necesarios para la ejecución de tareas y seguir las reglas de gestión. Los agentes tienen objetivos, habilidades, roles, habilidades de razonamiento y modos de presentar decisiones complejas;
- *Las habilidades o capacidades sociales de la entidad:* los actores de la cadena de suministro toman decisiones a través de los métodos de coordinación y/o negociación. Los agentes son autónomos, perciben el cambio del ambiente, son proactivos y tienen capacidades sociales;
- *La capacidad de toma de decisiones de las entidades:* el aprendizaje y el razonamiento son necesarios para los actores de la cadena con el fin de tomar decisiones. Los agentes tienen capacidades de razonamiento, adquisición de conocimiento o modificación del mismo a través del ambiente que lo rodea;
- *La coordinación entre entidades:* la coordinación entre los actores de la cadena es a través de materiales, información, dinero o interacción organizacional. La coordinación de las actividades de los agentes es a través de interacción de información con otros agentes;
- *El intercambio de información y su carácter incompleto:* un actor en la cadena de suministro tiene acceso a un intercambio de información incompleta dentro de la cadena. Un agente comparte información incompleta y conocimientos mediante el intercambio de mensajes;
- *La distribución de tareas:* las tareas de los actores de la cadena pueden ser descompuestas y asignadas a otros actores. Los agentes pueden delegar tareas a otros agentes;
- *La flexibilidad de la estructura:* los actores de la cadena pertenecen a una cadena de suministro con una estructura flexible, organizada por las estrategias

de los actores. Los agentes pertenecen al MAS flexible, que tienen estructuras de organización;

- *Las capacidades de evolución del sistema:* una cadena de suministro es dinámica: los actores de esta pueden unirse o salir de la cadena de suministro. Los agentes pueden añadirse a la del SMA y otros se pueden eliminar.

A continuación en la Figura 2 se presenta en forma de mapa mental: La analogía entre la cadena de suministro y los sistemas multi-agentes

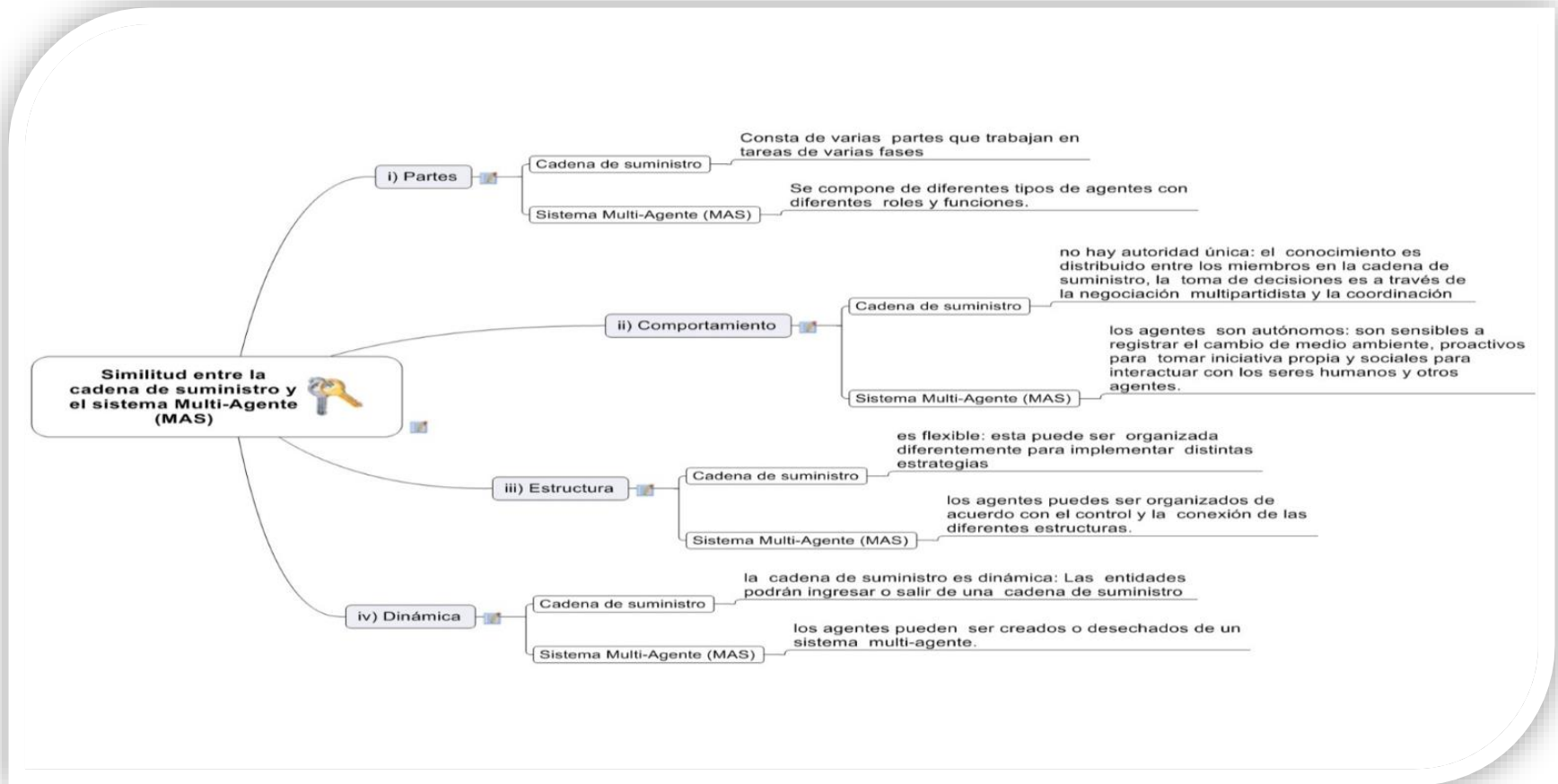


Figura 2. Mapa mental: Analogía entre la cadena de suministro y los sistemas multi-agentes. Punto 9.3.2. del presente proyecto.

9.3.3. Modelación Basada en Agentes y simulación de la cadena de suministro.

Los modelos basados en individuos son de gran interés en el estudio de la interacción básica de las entidades y sus organizaciones. Los modelos basados en agentes son de interés para la representación del comportamiento de las entidades del sistema y sus interacciones.

El uso del SMA para modelar sistemas dinámicos complejos nos lleva a modelos más reales que los obtenidos por los modelos convencionales. Los agentes autónomos están adaptados para el estudio del sistema descentralizado, dinámico y modular. El paradigma de agente ofrece la posibilidad de diseñar modelos muy cerca del sistema físico estudiado. De hecho la asociación agente/entidad nos permite representar de una manera más realista una serie de entidades y toma de decisiones en los procesos.

Este modo de representación nos permite mostrar el sistema como una organización de entidades en interacción dentro de la cual el conocimiento y la toma de decisiones son descentralizadas. Además, las acciones adoptadas por las entidades en respuesta a los cambios en el ambiente, por pro-actividad o reactividad, nos permiten considerar la naturaleza dinámica del sistema.

Según H. Van Dyke Parunak. (Parunak H., Savit, & Riolo, Agent-Based Modeling vs. Equation Based-Modeling: A case study and User's Guide, 1998), dos enfoques de modelos son contrastados por el estudio y la observación del comportamiento de los sistemas considerando sus dinámicas: *Modelos basados en ecuaciones (Dinámica de sistemas)* y *modelos basados en agentes*. Estos enfoques son basados sobre la descripción de dos tipos de entidades: *individuales* y *observables*.

Las entidades individuales son diferentes entidades las cuales llevan a cabo acciones a través de un comportamiento definido dentro de las regiones activas, las entidades individuales son caracterizadas por las entidades observables las cuales sus valores son transformados por sus acciones. *Las “entidades observables”* son características que se pueden medir a partir de las entidades individuales. Las entidades observables son conectadas por ecuaciones. Estas son usadas para predecir el comportamiento global del sistema con el tiempo.

La modelación basada en ecuaciones (Equation-Based Modeling, EBM) (Dinámica de sistemas) expresa la relación entre entidades observables usando un conjunto de ecuaciones. La ejecución del modelo consiste en la estimación de las ecuaciones incluyendo en estas el comportamiento de todos los individuos. Estas ecuaciones resultan de observaciones del comportamiento de estos individuos en el tiempo pero no los representa.

La modelación basada en agentes (Agent-Based Modeling, ABM) consiste en el diseño de modelos los cuales son definidos por un conjunto de agentes. Estos agentes encapsulan el comportamiento de cada individuo. La ejecución de este modelo consiste en simular el comportamiento, donde los individuos interactúan. La modelación basada en agentes está adaptada para representar organizaciones las cuales tengan estructuras modulares, tomas de decisiones distribuidas y fuertes ambientes dinámicos.

El SMA y la cadena de suministro están compuestos por entidades las cuales interactúan acorde a sus roles y habilidades dentro de la estructura organizacional. Los agentes y los actores de la cadena de suministro tienen los medios, recursos y capacidades que les permitan llevar a cabo diversas funciones, acciones o tareas en forma individual o colectiva. La simulación y modelación multi-agente nos permite tomar en cuenta:

- *La distribución natural de las cadenas y la no linealidad del comportamiento;*
- *las modificaciones de los ambientes:* es permitido el cambio del ambiente con su actualización mediante la adición o eliminación de agentes debido a la autonomía que tienen estos.
- *La variedad y complejidad de las decisiones,* y la habilidad del SMA para resolver problemas con la cooperación de los agentes en una manera distribuida.

Las analogías muestran que los actores de la cadena de suministro poseen información y conocimiento incompleto así como capacidades limitadas. Además, el control, los datos, la información, el conocimiento y la toma de decisiones son descentralizados y distribuidos dentro de la red de trabajo de las compañías. La simulación multi-agente (SMA) propone un modelo adaptado para representar redes de agentes autónomos en las cuales son emitidas y tomadas decisiones heterogéneas. Las propiedades del SMA facilita definir el comportamiento de la simulación que es basado en entidades autónomas para así comprender el funcionamiento complejo del sistema real modelado.

Estos modelos representan la acción individual de los agentes y su interacción así como las consecuencias de estas interacciones en el ambiente. El desarrollo de la simulación basada en agentes tiene que suministrar herramientas para tomar decisiones y lograr determinar estudios del comportamiento de su organización.

En los modelos formales construidos mediante simulación basada en agentes, los componentes básicos del sistema real están explícita e individualmente representados en el modelo (Edmonds et al., 2001). Por lo tanto las Fronteras que definen a los componentes principales de la cadena de suministro (fábrica, mayorista, etc.) corresponden con las fronteras que definen a los agentes del modelo, es decir, cada una de las entidades del problema (eslabones) se definen

como agentes individuales del modelo y las interacciones que tienen estos componentes corresponden con las interacciones que tiene lugar entre los agentes del modelo (flujo de información y producto). Esto depende de igual forma de la tipología del agente y por ende de la lógica que se tiene incrustada en cada uno de estos según la abstracción del modelo.

Otro punto importante a mencionar de la SMA es el concepto de “emergencia”. Los fenómenos “emergentes” son patrones macroscópicos que surgen a partir de las “interacciones descentralizadas”⁴ de componentes individuales más simples (en este caso los eslabones de la cadena) (Izquierdo, Galán, & Santos, 2008), es decir, La interacción de los componentes individuales o agentes (en este caso las fábricas) a medida que se ejecuta el modelo pueden generar patrones de comportamiento y resultados que se programaron desde la parte individual de los componentes generando el marco principal del modelo. Es importante aclarar de estos fenómenos “emergentes” que su aparición en el modelo no es evidente a partir de una formulación o descripción del sistema consistente en la especificación del comportamiento de los componentes que se exponen en el modelo y las reglas de interacción entre estos (Izquierdo, Galán, & Santos, 2008).

Como ejemplo se puede mencionar la formación de grupos diferenciados en el modelo de segregación de Schelling (1971)⁵; la aparición de patrones en este modelo de segregación no está específicamente impuesta en la definición del

⁴ La interacción de componentes individuales que son formulados cada uno en base a la abstracción del problema a simular.

⁵ Modelo establecido por Schelling en el año de 1971 donde se puede decir de este modelo que: es caracterizado por la separación de diferentes grupos raciales en vida de cada día, tal como comer en un restaurante, beber de una fuente del agua, atendiendo a la escuela o yendo a las películas. La segregación puede ser asignada por mandato por la ley o existir con normas sociales.

modelo, sino que surge de las interacciones entre los agentes individuales del sistema.

9.3.4. Revisión de la literatura sobre simulación y modelación de la cadena de suministro basado en agentes.

Muchos proyectos de modelación y simulación basados en multi-agentes aplicados a los sistemas de la industria han empezado desde los 1990s. Estos trabajos representan los sistemas de manufactura como entidades organizadas y redes de trabajo inteligentes (Talleres de producción, compañías, Cadenas de suministro, etc.).

A continuación se enumerarán algunas obras descritas e investigadas por (Monteiro, Anciaux, Espinasse, & Ferrarini, 2008) que se enfocan en la simulación de la cadena de suministro en su conjunto sobre el pensamiento dirigido y modelado de agentes de simulación, aplicado a agentes industriales.

9.3.4.1. ISCM (Integrated supply chain management) EIL, University of Toronto, Canadá.

Este proyecto está basado en el estudio de los problemas de coordinación de la cadena de suministro a un nivel táctico y operacional. Este proyecto está dirigido al diseño del (Agent building Shell, ABS) Para el desarrollo de aplicaciones multi-agente y la formación de un lenguaje de coordinación (COOrdination Language, COOL) (Barbuceanu & Fox, 1996). El lenguaje COOL, es de interés en el modelaje de protocolos de conversación implicados en complejos procesos de negociación entre agentes. La validación del COOL induce a la realización de una plataforma de simulación basada en agentes. La plataforma de demostración de la cadena de

suministro, desarrollada por, Teigen, hace posible modelar la empresa mediante la integración de una cadena de suministro usando el COOL Language.

La plataforma tiene dos tipos de agentes cooperantes (funcional y de información) para la solución de problemas basados en limitaciones. La validación del COOL es lograda mediante el desarrollo de protocolos de coordinación entre agentes para la solución de conflictos (Teigen, R., 1997). Esta plataforma permite una rica representación de las comunicaciones. La simulación realizada con esta plataforma nos permite estudiar y analizar el grado de cooperación entre agentes acorde al nivel de desarrollo del sistema.

9.3.4.2. Supply chain modeling and analysis ICL, Carnegie Mellon University, USA.

Este proyecto desarrollado por Sadeh, Smith y Swaminathan (Swaminathan , Smith, & Sadeh, 1998) propone una modelación y simulación del ambiente para analizar el manejo de estrategias en la cadena de suministro, este enfoque de modelo está basado en una colección de elementos genéricos, compuestos por elementos funcionales y estructurales.

Los elementos estructurales representan los actores quienes participan en la composición de la cadena de suministro. Estos elementos son representados por agentes, garantizando las actividades de producción y transporte de la cadena (agentes de suministro, agentes minoristas, etc.).

Los elementos funcionales describen el comportamiento de cada agente por la especificación de decisiones y acciones. Estos elementos son usados para la definición de modos de coordinación relacionados al movimiento del flujo de

materiales, estos modos están basados en protocolos de interacción usando intercambio de mensajes.

9.3.4.3. MASCOT (multi-Agent supply chain CoOrdination Tool) ICL, Carnegie Mellon University, USA

Este proyecto desarrollado por Hildum, Sadeh y Tseng está enfocado en la coordinación de protocolos para la cadena de suministro. MASCOT es una plataforma de simulación multi-agente para la planeación y programación acorde a dos niveles de decisión.

- *Nivel operacional:* los agentes garantizan la toma de decisiones en un corto tiempo u horizonte.
- *Nivel estratégico y táctico:* los agentes son responsables de las decisiones en largo y mediano tiempo. La coordinación entre agentes es llevada a cabo en direcciones verticales y horizontales, acorde a varios protocolos de interacción.

Basado en esta arquitectura el impacto de cuatro políticas de gestión es examinada en (Kjestad D., 1998) para analizar el desempeño de los actores de la cadena de suministro. Este trabajo es resumido en (Sadeh, Hildum, & Kjenstad, 2003) para estudiar tres políticas de coordinación horizontal. La primera política estima la entrega de datos de las futuras órdenes a la base de los datos históricos. La segunda política está basada en la programación de capacidad de acabado para compañías situadas bajo la cual esta recibe la oferta. La tercera política está basada en el cálculo de la capacidad de acabado para cada compañía.

El rendimiento obtenido luego de ciento cincuenta días de simulación muestra que la política que tiene menor retraso y mejor resultado, es la basada en la coordinación

lateral con capacidad de acabado (finished capacity). Esta política permite anticipar los compromisos de las entregas de acuerdo al material y la carga estimada. El proyecto MASCOT es de interés en la coordinación de los actores de acuerdo a dos niveles. La demanda se considera como un parámetro de entrada y opciones conceptuales de los elementos de la cadena de suministro los cuales son guiados por los objetivos del proyecto.

9.3.4.4. Research works at Iowa State University, National Sun Yat-Sen University and University Of Illinois, USA.

Strader, Flax y Shaw están interesados en la simulación de tres estrategias de gestión de la cadena de suministro, utilizando la simulación multi-plataforma de agente SWARM desarrollado en el Instituto de Santa Fe. El Intercambio eficiente de información se utiliza para absorber la incertidumbre, manteniendo al mismo tiempo los tiempos de ciclo estables (Strader, Lin, & Shaw, 1999). El modelo está compuesto por el controlador que dirige la simulación, el modelo estadístico para la generación de datos y el modelo a ser simulado.

La información de las estrategias de intercambio son: el no intercambio de información, la información compartida sobre la oferta y la información compartida sobre las previsiones y la demanda. La Simulación se realizó de acuerdo a tres políticas de relación con el cliente: make-to-Order (MTO), Assemble-to-Order (ATO) y Make-to-Stock (MTS). Una relación de la política ATO tiene un mejor desempeño en términos de ciclo de tiempo de las ordenes y los costos de inventario. En el caso de la política MTS, las previsiones de participación y las órdenes de reducir el nivel de existencias aumentan el tiempo de ciclo del pedido. El enfoque de modelación propuesto facilita la representación de cadenas de suministro complejas debido a su estructura de descomposición recursiva

9.3.4.5. DASCh (Dynamic Analysis of supply chains) ERIM`s center for electronic commerce, Ann Arbor, USA and University Of Michigan, USA.

El proyecto Dasch, desarrollado en el centro para el comercio electrónico en Ann Arbor, tiene por objeto simular y analizar la dinámica de las cadenas de suministro (Parunak H., Savit, Riolo, & Clark, DASCh: Dynamic Analysis of Supply Chains, 1999). Los modelos se componen de los siguientes agentes: i) la empresa que representa a los sitios de recepción como objetos de los insumos que se transforman en resultados (semi-acabado o del producto terminado), ii) PPIC (Planificación de Producción y Control de Inventario), que son los modelos de los algoritmos de planificación y control de inventario del tipo de MRP, y iii) los plazos de envío del modelo y las incertidumbres generadas por los movimientos de material y la información. Los agentes del cargador (Shipper), garantizan el transporte de los materiales y los agentes de correo (Mailer), garantizan la transmisión de información (Parunak H., Savit, Riolo, & Clark, DASCh: Dynamic Analysis of Supply Chains, 1999).

Este enfoque de modelado se ha aplicado al caso de la cadena de suministro DaimlerChrysler (Brueckner, Baumgaertel, Parunak H., Vanderbok, & Wilke, 2005). El modelo se compone de dos sitios de producción de componentes, un sitio de materias primas y el sitio de DaimlerChrysler. Los autores proponen la política de la propagación de información en la que las previsiones se calculan por DaimlerChrysler. El modelo multi-agente no permite representar los distintos niveles de toma de decisiones. Además, sólo la política de gestión de MRP se tiene en cuenta para la planificación de la fabricación y compra de órdenes.

9.3.4.6. ANTS (Agent Network for Task Scheduling) ERIM's Center for Electronic Commerce – Ann Arbor, USA.

El proyecto ANTS, desarrollado en el centro para el comercio electrónico en Sauter, se refiere a la gestión de cadenas de suministro. La cadena de suministro se compone de productores y clientes (Sauter & Parunak H., 1999). Los agentes desarrollan una programación de tareas con compromisos mínimos (compromiso mínimo de programación), retrasando la programación hasta el último momento posible.

Los agentes repasan todo el tiempo en la ventana de los “perfiles de compromiso” en busca de oportunidades para optimizar la programación. Los agentes transmiten las decisiones de acuerdo a criterios probabilísticos, lo que les permite ajustar sus actividades de acuerdo a la dinámica del medio ambiente. El enfoque de “compromiso mínimo” se basa en la capacidad de flexibilidad y hace posible que el sistema dé respuesta rápida a los cambios de la dinámica del medio ambiente.

El sistema debe ser capaz de responder favorablemente a los cambios, incluso después de que los compromisos son contraídos. Este enfoque pone de manifiesto que los agentes pueden tener cargas de trabajo que son en gran medida exceso de capacidad. Además, los agentes presentan comportamientos sencillos (centrados en la reactividad) y conversaciones limitadas.

9.3.4.7. NETMAN (NET worked MANufacturing) CIRRELT, Laval University, Canadá.

El proyecto NetMan, desarrollado por el Laboratorio de la Universidad Laval CENTOR iniciado por Montreuil, D`amoure y Lefrancois, propone un enfoque

jerárquico para la representación de la estructura organizativa de las redes empresariales.

Este enfoque de modelado es basado en la identificación y el establecimiento de unidades de negocio autónomas (Montreuil, Frayret, & D'Amours, 2000). Cada unidad de negocios está representado por los centros NetMan que colaboran y coordinan entre sí. Cada centro NetMan se define como un sistema de agente responsable de la gestión de sus actividades y recursos dentro de la red de fabricación. Así, los conceptos desarrollados en este enfoque de modelado, a través de la definición de los centros NetMan (autónomo, reactivo, proactivo y sociable) define la estructura organizativa del sistema multi-agente. La definición de las responsabilidades induce a desarrollar los procesos de toma de decisiones, así como el establecimiento de la relación entre los centros de NetMan (Cloutier, Frayret , D'Amours, Espinasse, & Montreuil, 2001). Los modos de interacción entre los agentes se especifican con marcos de coordinación. Los marcos de coordinación son formalizados a través de contratos y convenios. Los contratos y convenios se basan en el modelo CAT (Convención de acuerdo de transacción) (Espinasse, Cloutier, & Lefrancois, 1998).

Este modelo desarrollado por el Laboratorio LISIS en la Universidad de Aix-Marseille (Francia), apoya las actividades de coordinación entre los agentes en el centro de NetMan, mismo requisito para la planificación de la capacidad y gestión de inventarios. Además, este modelo se refiere a la coordinación entre los diferentes centros de NetMan. Los enfoques desarrollados en este proyecto se aplicaron en un contexto industrial en el Prévost Car Company Inc. del grupo Volvo. En este contexto, una plataforma multi-agente de simulación ha sido desarrollada con el objetivo de establecer la adecuación entre la demanda y la capacidad de producción de la línea técnica de montaje de acuerdo a una amplia personalización y gama de opciones.

9.3.4.8. Research Work at DAMAS/FORAC, Laval University, Canadá.

Estos trabajos de investigación se centran en la reducción de la incidencia del efecto látigo en una cadena de suministro. El objetivo es proponer y probar diversos mecanismos de coordinación a fin de evaluar las estrategias de gestión empresarial implicada en una red de fabricación de la industria de productos forestales) (Moyaux, 2004).

Los dos principios definidos por los mecanismos de coordinación son: i) ordenar al proveedor las necesidades exactas emitidas por los clientes, y ii) las empresas pueden reaccionar una vez a cada cambio de consumo en el mercado. Cada empresa es modelada por un agente que tiene una estrategia específica para hacer pedidos, el objetivo es comparar mecanismos de coordinación distribuidos y como resultado obtener estrategias para optimizar los pedidos. La simulación relaciona por un lado, a una cadena de suministro homogénea (estrategia idéntica para cada empresa), y por otro lado a una cadena de suministro heterogénea (estrategia para reducir al mínimo de cada empresa los costos individuales).

Los resultados de las simulaciones muestran que el uso de los mecanismos de coordinación propuestos nos permite reducir el efecto látigo en los dos tipos de cadenas de suministro. El enfoque de modelado seleccionado, un agente por compañía, permite evaluar múltiples estrategias de pedidos a lo largo de la cadena de suministro.

9.3.4.9. Research Work at the ONERA, Toulouse, France.

Estos trabajos se centran en la evaluación de las actividades de suministro en la industria aeronáutica. Los objetivos son para proponer una herramienta para la toma de decisiones en el suministro de redes de trabajo. La herramienta propuesta facilita

la evaluación de las ganancias resultantes de la mejora relacionada con el control de los flujos entre un cliente y sus proveedores. El propósito es determinar la información relevante para ser intercambiada con el objetivo de mejorar las actuaciones individuales y el rendimiento de la cadena de suministro (Telle , 2003).

El enfoque de modelo sugerido en (Telle , 2003) define a un agente estructurado de la propia empresa en cuatro sub-agentes. El conjunto de sub-agentes representan a la empresa usando sistemas de planificación y sistemas físicos (suministro, distribución y producción). Los experimentos se refieren a la influencia del cliente sobre el rendimiento de sus proveedores. En la simulación se evalúa el impacto relacionado con la parte de la planificación de las adquisiciones y de las previsiones por el cliente a sus proveedores. El estudio se centra en la frecuencia de envío de los planes de adquisición y el tamaño de los horizontes de previsión.

9.3.4.10. Research, Work at University College London And Imperial College London, UK.

Estos trabajos de investigación se enfocan sobre el acoplamiento del MAS a las técnicas de optimización. La optimización, utilizada de forma local para lograr una programación óptima, proporciona a los agentes un conjunto de metas a ser alcanzadas con el fin de orientar sus decisiones (política de producción, el uso de los recursos, etc.). La evaluación comparativa se refiere al sistema del control de suministro y su efecto en la oferta. Uno de los objetivos es reducir sus costos de operación, manteniendo un alto grado de respuesta a la demanda.

Dos agentes de almacén (centros de almacenamiento) aplican las órdenes de stock por el mismo proceso a dos agentes de la fábrica a través del agente IntLogistics. En consecuencia, los dos agentes de almacén (centros de almacenamiento) deben compartir el mismo recurso de contratación. El agente IntLogistics debe determinar

el agente de la fábrica que se encargará de reabastecer al agente de depósito (centros de almacenamiento) de acuerdo al costo más bajo.

El rendimiento de la cadena de suministro se mide mediante un indicador llamado “a tiempo completo” (On Time In Full, OTIF), lo que corresponde a la suma de las órdenes que pueden ser entregadas por los sitios de fabricación (fábrica) dividido por la suma total de los pedidos entregados por los sitios de fabricación (fábrica) y los de subcontratación. Una herramienta de optimización resuelve el problema de programación de cada lugar de producción, mientras la toma de decisiones tácticas y políticas de control se llevan a cabo por un sistema multi-agente. Las interacciones representadas sólo afectan al nivel inter-sitio. Este enfoque de modelación orientado a agentes se refiere a la descripción de la operación de la cadena de suministro en el nivel inter-sitio.

9.3.4.11. MAMA-S, GII, ENS Mines de Saint-Etienne, France.

Estas obras proponen un enfoque metodológico para la simulación multi-agente: MAMA-S (Galland, Grimaud, Beaune, & Campaigne, 2003). Este enfoque se basa en cuatro fases: i) la especificación, ii) diseño, iii) la realización y iv) la experimentación. Estas fases soportan la simulación de sistemas industriales distribuidos. La fase de especificación se refiere al diseño de un modelo conceptual basado en un formalismo inspirado en modelos de empresa. La fase de diseño traduce el modelo conceptual en un modelo multi-agente. A lo largo de la fase de realización, las consideraciones de procesamiento de datos se tienen en cuenta en la elección de la herramienta de simulación y plataformas multi-agente. La fase experimental se refiere a la implantación y utilización del modelo de simulación resultante de la fase anterior. La infraestructura de apoyo al proceso de simulación se basa en el sistema multi-agente y herramientas de simulación.

El sistema multi-agente se compone de varios subsistemas del agente. Cada herramienta de simulación puede ser un elemento diferente del software. Un subsistema multi-agente se compone de una herramienta de simulación y a un conjunto de agentes que pertenecen a dos clases principales: Los agentes de la serie AgS que representan a entidades físicas o abstractas del sistema considerado y los agentes del tipo AgF que son facilitadores que apoyan la interacción entre los varios subsistemas del agente (Galland, Grimaud, Beaune, & Campaigne, 2003).

La arquitectura propuesta toma lugar en un contexto de simulación distribuida. Este enfoque metodológico promueve el diseño de la interacción en los modelos de simulación. La explotación del formalismo propuesto para el diseño del modelo abstracto requiere competencias en el área de la simulación.

9.3.4.12. Research work at LSIS – University of aix-marseille, France, and CIRRELT- Laval University, Canadá.

Esta investigación propone en primer lugar, un agente-metodológico orientado para el modelado y la simulación de las cadenas de suministro, en particular, la personalización en masa de cadenas de suministro. Este marco metodológico ha de permitir el desarrollo de la simulación de sistemas basados en el apoyo a la decisión, permitiendo una gestión inteligente y altamente dinámica para este tipo de cadenas.

Este marco define dos modelos principales, el “modelo conceptual de agente” (Conceptual Agent Model, CAM) y el “modelo operativo de agente” (Operational Agent Model, OAM), lo que hace posible la simulación de las actividades físicas, los procesos de toma de decisiones y los flujos de información y material de las cadenas de suministro.

La segunda contribución de esta investigación es la especificación de un agente híbrido orientado a la plataforma de simulación que se ha desarrollado para la implementación del modelo AOM y para hacer viables experimentos. En esta plataforma los agentes cognitivos se implementan en la plataforma MAJORCA desarrollada en LSIS que está escrito en Java, esta integra el motor de reglas JESS y es compatible con el FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent).

Los agentes reactivos se aplican en el software de simulación AnyLogic© para el desarrollo de sistemas discretos. Este marco metodológico y plataforma de simulación se ha utilizado para modelar y simular en masa la cadena de suministro en el campo de la industria del golf para estudiar las estrategias de coordinación entre los diferentes actores de la cadena (Labarthe, Espinasse, Ferrarini, & Montreuil, Toeard a methodological Framework for Agent-Based Modelling and Simulation of Supply Chains in Mass Customization Context, 2007).

9.3.5. Conclusiones y resumen de los proyectos.

En la literatura científica podemos notar un incremento en el número de publicaciones relacionadas a la simulación y modelación orientada a agentes en la cadena de suministro. Estos trabajos de investigación implementan el enfoque del agente de diferentes formas. Una comparación de los proyectos de investigación y simulación basada en agentes está propuesta en la tabla 1.

PROYECTOS	ÁREAS	CLASES DE PROBLEMA	MODELADO DE REDES DE ABASTECIMIENTO	CARACTERÍSTICAS
------------------	--------------	---------------------------	--	------------------------

ISCM - demostrador de la cadena de suministro (Teigen, R., 1997)	cooperación en la cadena de suministro	la integración de la empresa en una cadena de suministro	un agente de logística, un agente de empresa, un agente del cliente	conversaciones complejas para la cooperación
SCMA (Swaminathan , Smith, & Sadeh, 1998)	Diseño en la cadena de suministro	Diseño del SMA para la simulación de la cadena de suministro	cuatro agentes de producción - un agente de transporte - cinco elementos de control	la modularidad, la reutilización
MASCOT (Sadeh, Hildum, & Kjenstad, 2003)	coordinación en la cadena de suministro	coordinación de la planificación y la programación	tres agentes/empresas: Un agente de planeación - Dos agentes de programación	intra e inter nivel de coordinación
(Strader, Lin, & Shaw, 1999)	Administración de la cadena de suministro	el intercambio de información en una cadena de suministro divergente	Un agente o departamento de la empresa: ocho agentes (Inventario, planeación, etc.)	la gestión de acuerdo a la red de trabajo
DASCh (Parunak H., Savit, Riolo, & Clark, 1999)	Administración de la cadena de suministro	la propagación de las previsiones a los actores de red	Un agente / de la empresa - Un agente / de la Información - Un agente de	el estudio del efecto látigo, la ventana de prever con

			materiales / - Un agente de MRP / de la empresa	precisión el tamaño
ANTS (Sauter & Parunak H., 1999)	Programación de la cadena de suministro	la asignación de tareas sobre los recursos por compromisos	Un agente / de recursos - Un agente de materiales / - Un agente de proceso	la participación en las capacidades de programación
NETMAN (Montreuil, Frayret, & D'Amours, 2000)	Redes de trabajo distribuidas y ágiles	Modos de coordinación distribuida	Un agente / Centro NetMan	estructura organizacional del SMA
(Moyaux, 2004)	coordinación en la cadena de suministro	reducción del efecto látigo en una cadena de suministro	Un agente / de la empresa	propuesta de los modos de coordinación
(Telle , 2003)	Relación de la cadena de suministro	estudios de rendimiento de una red de suministro	Un agente / de la empresa compuesto por cuatro agentes	frecuencias de intercambio de información
Opt./MAS (Gjerdrum, Shah, & Papageorgiou, 2001)	Inventario de la cadena de suministro	el nivel de servicio en comparación con el nivel de inventario de stock	Un agente del mercado al contado - Un agente / sitio de la red - Un	frecuencias de intercambio de información

			agente / de transporte	
MAM-S (Galland, Grimaud, Beaune, & Campaigne, 2003)	simulación distribuida	agente de modelado y simulación metodológica	herramientas de simulación - los agentes facilitadores - Agentes de la simulación	propuesta de una arquitectura MAS

Tabla 1. Comparación de los proyectos de investigación y simulación basada en agentes para la cadena de suministros.

Todos los proyectos de investigación que aparece en la tabla 1. Proponen varias iniciativas de modelación y simulación orientadas a agentes. El espectro cubierto por estos proyectos se extiende desde la gestión de una unidad industrial a la gestión global de una cadena de suministro. Esta diferencia de representación desde un punto de vista organizacional influye en el modelado de los enfoques propuestos para el diseño de los modelos de simulación.

Los agentes se utilizan para la representación de las entidades de la cadena de suministro. La especificación de su comportamiento está determinada por el nivel de abstracción del modelo. En la actualidad, el papel desempeñado por los agentes y su número son diferentes de un proyecto a otro. El agente posee conocimientos, comunicación y capacidades para la toma de decisiones, los cuales se extienden desde la gestión de un recurso material a la gestión estratégica de una empresa. En la mayoría de los proyectos los agentes se asocian a menudo con una compañía o un centro de distribución.

Aunque en determinados proyectos las clases de problemas y los enfoques de modelado están cerca, los modelos se centran en una parte específica de los negocios. La forma en la cual los problemas son formalizados no nos permite comparar los resultados de simulación obtenidos. Este es el caso del proyecto DASCh. Este es un proyecto que se refiere al impacto de actuaciones como el intercambio de información en la cadena de suministro. Sólo en caso de las obras de Strader, Lin y Shaw, este estudio se centra en la identificación de las mejores políticas de gestión que deben ser adoptadas de acuerdo a la relación con el cliente. El proyecto DASCh usado por Brueckner (Brueckner, Baumgaertel, Parunak H., Vanderbok, & Wilke, 2005) se concentra en la variación de los niveles de inventario en los diferentes lugares de la cadena de suministro.

Todos los proyectos difieren en el enfoque celebrado para obtener un modelo orientado a agentes para la simulación. Dentro del marco del proyecto NETMAN el sistema multi-agente se obtiene a raíz de la representación del sistema estudiado por un marco de modelado de una red industrial de trabajo. El examen de los conceptos derivados del modelo empresarial también está garantizado dentro del marco del enfoque MAMA-S. El análisis de los diversos proyectos muestra que los agentes que se utilizan modelan actores o procesos de toma de decisiones dentro de las cadenas de suministro.

9.4. LA SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS Y LA CADENA DE SUMINISTRO

9.4.1. Simulación con Dinámica de sistemas

A diferencia de la simulación basada en agentes, la dinámica de sistemas gira en torno al concepto de retroalimentación, o causalidad circular entre “variables

observables”⁶. Estas variables observables pueden describir algún atributo de los componentes básicos del sistema, o referirse a alguna magnitud global del mismo.

Es cierto que existe una tendencia en la dinámica de sistemas a utilizar variables observables del sistema en su conjunto. En ese caso, es importante darse cuenta desde un principio que el mero hecho de estudiar magnitudes del sistema global (en vez de estudiar magnitudes de sus componentes básicos directamente) supone ya un alto grado de abstracción. A diferencia de la simulación basada en agentes (donde se estudian interacciones entre los componentes básicos del sistema), el foco de atención en la dinámica de sistemas reside en la relación existente entre las *variables observables* (Izquierdo, Galán, & Santos, 2008).

Estas relaciones en los modelos dinámicos son relativamente complejas entre sí. Según Scholl en la mayoría de los sistemas complejos existen variables observables que no están ligadas por una relación lineal causa-efecto. Las relaciones lineales causa-efecto en el sentido tradicional del término se caracterizan por las siguientes propiedades (Scholl, 2001):

1. La causa precede al efecto en el tiempo,
2. Existe una fuerte correlación empírica entre causa y efecto, y
3. Esta relación no es el resultado de ninguna otra variable.

No es extraño en estos sistemas observar dos variables que, pese a no mantener relación alguna de causalidad, presentan alta correlación temporal simplemente como consecuencia de la dinámica global del sistema. Este modelo de simulación es una herramienta de modelado útil para analizar este tipo de sistemas caracterizados por contener complejas relaciones de causalidad circular.

⁶ Son aquellas variables dinámicas que se pueden observar. (Por ejemplo, el tiempo no es una variable observable).

Debido a la estructura de los modelos formales creados con un enfoque de dinámica de sistemas, la mayoría de los modelos de dinámica de sistemas pueden expresarse como un conjunto de ecuaciones algebraicas (diferenciales) cuyas variables son propiedades (en general macroscópicas) del sistema modelado. Uno de los objetivos de la dinámica de sistemas está, por tanto, en encontrar las variables críticas del sistema complejo e identificar los vínculos causales que existen entre ellas.

9.4.2. La simulación de la cadena de suministro con Dinámica de Sistemas.

Así como anteriormente mencionamos la factibilidad que hay para poder aplicar la simulación basada en agentes en la modelación de una cadena de suministros de igual forma tiene aplicabilidad la simulación enfocada a la dinámica de sistemas. Este método de simulación también es una buena opción para modelar la cadena de suministros.

Una cadena de suministros es adaptable a la simulación dinámica por tener las siguientes características las cuales son mencionadas en el proyecto de Coral (Coral Salazar & Zuleta Muñoz, 2010).

- Se reconoce en los estudios que la cadena de suministro es dinámica y muestra cómo a través del tiempo su comportamiento varía. Se aclara que la cadena no tiene que cambiar, sólo es necesario que se cambien los escenarios de la misma.
- Hay interactividad en la cadena de suministro entre sus eslabones, lo que muestra contacto entre sus partes, entidades o agentes. Un ejemplo de esto es

cuando se realiza un pedido por parte del minorista al mayorista o la interacción cliente-servicio lo que produce en el sistema un comportamiento característico.

- La cadena de suministros tiene su grado de complejidad por lo que intervienen variables de interés. Debido a su comportamiento dinámico individual es necesario realizar los análisis de forma cuidadosa ya que las operaciones dentro de la cadena son el resultado de un gran número de variables que poseen un fuerte vínculo.

La dinámica de sistemas es una herramienta importante para simular distintos escenarios de la cadena de suministro siempre y cuando halla la habilidad de entender el sistema de forma general, analizando de manera clara las relaciones que existen entre los componentes del sistema de forma que se suministre la correcta realimentación sin deformar el modelo y por ende los resultados.

9.5. DIFERENCIA ENTRE LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES Y DINÁMICA DE SISTEMAS

La diferencia de estos dos procesos comienza desde el proceso de abstracción del modelo. Si éste es diferente, la abstracción del sistema real obtenido será diferente y por lo tanto, todas las etapas que siguen en el proceso de modelado científico (diseño, codificación, inferencia, análisis, interpretación y aplicación) se verán alteradas (Izquierdo, Galán, & Santos, 2008).

La simulación basada en agentes se centra en los componentes básicos del sistema. El proceso de abstracción se hace sobre cada componente en este caso sobre los eslabones, cada uno como un agente individual y no sobre el sistema en su conjunto. Para construir un modelo basado en agentes se deben identificar los componentes principales del sistema real (en nuestro caso Fabricante, Mayorista y

Minorista, etc.) de forma que se puedan abstraer las propiedades individuales y las interacciones que se producen entre estos.

Esto se pretende realizar con este modelo en el software Anylogic® donde se tomará cada uno de los eslabones de la cadena y se determinarán como agentes individuales, programando cada uno de estos internamente mediante algoritmos (programación orientada a objetos en java) donde estarán registrados los patrones y comportamientos lógicos del agente tanto individual como su interacción con los otros agentes, en este caso, los otros eslabones de la cadena de suministro.

Estas interacciones se producen bien directamente entre los componentes básicos establecidos y nombrados. Se aclara que estos tienen variables y parámetros definidos dentro de su lógica lo que le otorga características importantes a estos (agentes) según la abstracción del modelo.

Cuando se crea un modelo SMA surge el comportamiento del mismo a partir de la interacción de sus agentes y como consecuencia de esas lógicas individuales. Estas interacciones se producen bien directamente entre los componentes básicos del sistema o a través de un entorno. Por lo tanto, Se puede decir que ni el modelador determina las condiciones sobre el comportamiento global del sistema directamente, sino que éste “surge” como consecuencia de las condiciones impuestas sobre los componentes básicos del sistema y sus interacciones. En conclusión, el comportamiento global del sistema no es abstraído como en la dinámica de sistemas, sino que “emerge” durante el proceso de inferencia, al correr el modelo.

El enfoque de la dinámica de sistemas, por el contrario, se centra en las relaciones causales que ligan *variables observables*. Estas relaciones pueden expresarse fácilmente con ecuaciones algebraicas y es la particularización de valores que satisfacen estas ecuaciones lo que genera la dinámica global del sistema. Las

ecuaciones pueden tener en cuenta la variabilidad en el tiempo (ecuaciones diferenciales) y en el espacio (ecuaciones diferenciales parciales).

De un modo un tanto informal, Izquierdo y Galán comparan estos dos modelos de la siguiente manera: “la simulación basada en agentes simula actores y los deja interactuar para crear la película, mientras que la dinámica de sistemas simula el guión de la película directamente” (Izquierdo, Galán, & Santos, 2008).

Cuadro Comparativo

	Simulación Dinámica de Sistemas	Simulación Basada en Agentes
2.5.1.1. Bloque básico de construcción	Bucles de realimentación	Agente
2.5.1.2. Unidad de análisis	Estructura	Reglas
2.5.1.3. Nivel de modelado	Macro	Micro
2.5.1.4. Perspectiva	Arriba hacia Abajo (Top-Down)	Abajo hacia arriba (Bottom-Up)
2.5.1.5. Adaptación	Cambio de estructura dominante	Cambio de estructura
2.5.1.6. Manejo del tiempo	Continuo	Discreto
2.5.1.7. Formulación matemática	Ecuaciones Integrales y diferenciales	Lógica
2.5.1.8. Origen de la dinámica	Niveles	Eventos

Tabla 2. Extractos de las principales diferencias entre la dinámica de sistemas y el enfoque de simulación basada en agentes.

9.5.1. Bloque básico de construcción: bucles de retroalimentación vs Agentes.

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: Un modelo de dinámica de sistemas consiste en la interacción de bucles de información. Esta estructura de retroalimentación conduce a un comportamiento dinámico y característico de una abstracción general del sistema, El bucle de realimentación por lo tanto, puede considerarse el elemento básico de un modelo de Dinámica de Sistemas.

Simulación Basada en Agentes: En la simulación basada en agentes el elemento básico es el agente (Jennings, Sycara, & Wooldridge, 1998). Un modelo consta de múltiples agentes y su entorno. A menudo, incluso el medio ambiente se modela como uno o más agentes, por supuesto con diferentes propiedades en cada uno de los actores o entidades. A cada agente se le es dado un conjunto de normas según las cuales este interactúa con otros agentes, esta interacción como consecuencia, genera el comportamiento global del sistema.

9.5.2. Unidad de análisis: la estructura frente a las normas

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: El comportamiento de un modelo de dinámica de sistemas está determinado por su estructura. La propia estructura tiene que ser definida antes de comenzar la simulación. Es en la estructura como tal en la que el simulador debe de tratar de encontrar puntos de influencia para cambiar el comportamiento del sistema en una dirección determinada.

Simulación Basada en Agentes: En la simulación basada en agentes se encuentra el foco sobre las normas de los agentes. Las reglas de un agente deben determinar sus interacciones con otras entidades lo que determina el comportamiento del

sistema macro. Las reglas a menudo son flexibles, es decir que pueden cambiar en el curso de la simulación.

9.5.3. Nivel de modelado: macro vs micro

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: El tipo de simulación utilizada en la dinámica de sistemas pertenece al grupo de los enfoques de simulación macro. La simulación macro puede ser un término algo engañoso ya que no implica que la dinámica de sistemas sólo pueda ser usada en general para los problemas macro-económicos y/o macro-sociales, (Davidsson, 2000) explica las diferencias de micro y macro simulación de la siguiente manera: "... *en la macro simulación, el conjunto de individuos es visto como una estructura que puede ser caracterizada por un número de variables, mientras que en la micro simulación la estructura es mirada como emergente desde las interacciones entre los individuos*". En la Dinámica de Sistemas, un sistema es modelado desde una visión de conjunto, lo que representa las características de los objetos o los objetos mismos a través de propiedades comunes. Este es un resultado directo de la técnica de modelización utilizada: Las variables de nivel son acumulaciones de flujos; Por consiguiente, los objetos individuales que fluyen a través del sistema pueden no ser identificados, mientras que en la simulación basada en agentes sí.

Simulación Basada en Agentes: Utilizando la definición de (Davidsson, 2000) hacia la simulación basada en agentes se define que esta pertenece a los enfoques de la micro simulación. El modelador, de antemano, no determina las características de la población, sino que la población evoluciona en el transcurso de la simulación. Por eso, la simulación basada en agentes establece un vínculo entre el nivel micro y macro de un modelo, mientras que la Dinámica de Sistemas establece un vínculo entre la estructura y el comportamiento del sistema.

9.5.4. Perspectiva: De arriba hacia abajo vs de Abajo hacia arriba

La acumulación es impuesta por el modelador en la Dinámica de Sistema, pero ocurre como un proceso de abajo hacia arriba en la Simulación basada en agentes. Este proceso de abajo hacia arriba se ve a menudo como un fenómeno llamado “emergencia”. (Gilbert & Nigél, 1995) "la emergencia se produce cuando las interacciones entre los objetos a un nivel micro da lugar a diferentes tipos de objetos a otro nivel mucho mayor. Más precisamente, un fenómeno es emergente si requiere nuevas categorías para describir lo que no describe el comportamiento de los componentes subyacentes”.

En el estudio de la Dinámica de Sistemas el fenómeno “emergente” es en sí mismo el modelo. En un modelo basado en agentes, sin embargo, el sistema evoluciona y “emerge” en el transcurso de la simulación.

9.5.5. Adaptación: cambio de estructura dominante vs cambio de estructura

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: El proceso de adaptación tiene un papel importante en ambos enfoques. De acuerdo a (Holland, 1975) la “adaptación” es la modificación de la estructura con el objetivo de un mejor desempeño en un entorno determinado. En un modelo de Dinámica de Sistema la estructura tiene que ser determinada antes de iniciar la simulación; Ello no puede ser modificado en el transcurso de la simulación. Por consiguiente, los modelos de Dinámica de Sistema no son capaces de adaptarse.

Simulación Basada en Agentes: Los modelos basados en Agentes tienen alta posibilidad de adaptarse. El cambio en la estructura puede, por ejemplo, lograrse mediante el uso de algoritmos evolutivos o genéticos. Un algoritmo genético hace posible una generación posterior de los agentes evolucionando estos desde sus

antepasados. Este desarrollo se consigue principalmente a través de dos procesos: "Cross-over" y "mutación" (Holland, 1975) "Cross-over" se produce cuando los genes de un nuevo agente consistirán en una mezcla de genes de sus padres, la mutación es el cambio accidental de los genes.

9.5.6. Manejo del Tiempo: continuo vs discreto

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: La Dinámica de Sistemas se centra en una representación continua de los sistemas del mundo real. Forrester afirma que los modelos dinámicos de flujo continuo son más fáciles de entender y por ello deberían ser el punto de partida para el correcto desarrollo de un modelo. Esto no implica que las discontinuidades no son compatibles con la idea de la Dinámica de Sistemas, es simplemente que su atención se centra en las continuidades de los sistemas socio-económicos (Richardson, 1991).

Simulación Basada en Agentes: En la literatura basada en la simulación de agentes ninguna proposición está hecha claramente acerca del manejo del tiempo. Pero, en general es aplicada en una perspectiva discreta (Dong-Hwan & Jae-Ho, 1997).

9.5.7. Formulación matemática: las ecuaciones diferenciales e integrales vs la lógica.

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: Matemáticamente, un modelo de dinámica de sistemas es "un sistema de acoplamiento de ecuaciones diferenciales, no lineales de primer orden" (Saleh, 2000) las cuales representan las estructuras de los bucles de retroalimentación del modelo. Estos bucles de retroalimentación consisten en dos tipos de variables fundamentales: Niveles y tasas. Los niveles son

las acumulaciones de las tasas de flujo, que a su vez son el resultado de las reglas de decisión que representan la acción.

Simulación Basada en Agentes: No hay ninguna definición universalmente aceptada para la descripción matemática de los SMA. La mayoría de los formalismos están basados en la lógica, por ejemplo, (Fisher & Wooldridge, 1996) sugieren el uso de la lógica temporal, como marco general para el modelado de sistemas basados en agentes. Pero, como mencionan (Dong-Hwan & Jae-Ho, 1997): “las metodologías de investigación en la simulación basada en agentes son tan diversas que ninguna plataforma común de modelización existe”.

Una diferencia fundamental entre la Dinámica de Sistemas y Simulación basada en agentes se puede encontrar en la transición de un estado a otro: el comportamiento futuro de un modelo de dinámica de sistemas depende exclusivamente de su situación actual. En un modelo de simulación basada en agentes (SMA), sin embargo, depende de sus agentes ya que poseen una memoria estable que varía el comportamiento a futuro de la dinámica actual.

9.5.8. Origen de la dinámica: los niveles vs los eventos

Simulación Basada en Dinámica de Sistemas: El concepto central del enfoque de dinámica de sistemas está en el concepto de acumulación (Saleh, 2000). El conjunto de elementos que representan la acumulación de procesos se conocen como estados, variables o niveles, estos crean la inercia o los retrasos para así determinar el comportamiento del sistema. La importancia de los niveles es señalada por el hecho de que es uno de los dos elementos básicos de un modelo (el otro elemento son las variables de flujo que representan las tasas de entradas y salidas). Todas las sub-estructuras (por ejemplo, retrasos, loops de retroalimentación, etc.) contienen niveles.

Simulación Basada en Agentes: A diferencia de la simulación dinámica cada eslabón de la cadena se determina como un agente individual y tiene internamente unos parámetros, variables y una lógica que serán definidas con base a la abstracción del modelo a desarrollar.

10. ESTRUCTURA DEL MODELO “JUEGO DE LA CERVEZA” CON UN ENFOQUE DE SIMULACION BASADO EN AGENTES (SBA)

10.1. LOS DIFERENTES MODELOS DE SIMULACIÓN Y SUS NIVELES DE ABSTRACCIÓN

Si consideramos los diferentes enfoques de modelos de simulación aplicadas a los negocios, encontraremos tres metodologías importantes a considerar. La Simulación Dinámica de Sistemas (“System Dynamics”, SD) y la Simulación Basada en sistemas multi-Agentes (“Agent Based Modeling”, ABM). Mientras las dos primeras metodologías fueron propuestas en los años 1950 y 1960 respectivamente, la Simulación “Basada en agentes” fue tomada seriamente por los profesionales de la simulación en el año 2000. Desde entonces se han acumulado un buen número de historias exitosas.

El método de la **Simulación Dinámica de Sistemas** (DS) asume un alto nivel de abstracción y se utiliza principalmente para problemas de nivel estratégico. La **Simulación por Eventos Discretos** (DE) se utiliza principalmente en los niveles tácticos y operacionales. La **Simulación Basada en sistemas multi-Agentes** (SMA) se puede utilizar en todos los niveles, es decir: los agentes pueden ser empresas, consumidores, proyectos, ideas, vehículos, peatones, robots, etc. A continuación, describiré algunas características de estos tres métodos para identificar la particularidad de la simulación Basada en Agentes al momento de abstraer las variables de un modelo.

- En **La Simulación Dinámica de Sistemas (“System Dynamics”, SD)** el mundo real es representado en términos de stocks (Ej: Material, conocimiento, gente, Dinero, Fabricas), flujos entre estos stocks y la información que determina el valor de estos flujos donde adicionamos a esto loops (Conexiones) que unen, retroalimentan, balancean y refuerzan las

estructuras según las necesidades impuestas por el modelador. Matemáticamente este tipo de enfoque (SD) es un sistema de ecuaciones diferenciales. Los stocks, flujos y loopers (conexiones) no tienen poder de individualidad, obligando al modelador a pensar en términos de dependencias estructurales y globales lo que hace que proporcione datos cuantitativos precisos para estas estructuras. Por lo tanto, el nivel de abstracción de este enfoque de modelación es alto, Es decir, el punto de vista del sistema al momento de modelarlo es a nivel macro.

- En la **Simulación de eventos Discretos (“Discrete Events”, DE)**: La simulación por DE puede estar constituida por entidades las cuales están representadas por objetos Pasivos a diferencia de la simulación Basada en agentes, en la cual estos agentes son constituidos por objetos reactivos, (Estos objetos pasivos pueden ser: Personas, partes, documentos, tareas, mensajes, etc.) los cuales viajan a través de bloques de diagramas de flujo donde se quedan en colas, se retrasan, son procesados, se retienen, se liberan recursos, se dividen, se combinan, etc. La simulación DE puede considerarse como una entidad global de procesamiento de algoritmos, típicamente con elementos estocásticos.

- La **Simulación Basada en agentes en sistemas multi-Agentes (SMA)** es un tipo de Modelado descentralizado, es decir, no hay un agente de control designado. En comparación con los tipos de modelado DE y SD no hay un lugar en los modelos SMA donde el comportamiento global del sistema (Dinámico) pueda ser definido, por lo tanto, con esta perspectiva (SMA) el modelador define el comportamiento del modelo a nivel individual y como resultado de estos (decenas, cientos, miles, millones) individuos, cada uno siguiendo sus propias reglas de comportamiento, conviviendo juntos en un entorno, comunicándose entre sí y con el medio ambiente, hacen que surja el comportamiento global del sistema. Esa es la razón por la cual la

modelación SMA se denomina también modelación Bottom-Up o abajo hacia arriba.

A la hora de desarrollar un modelo de simulación debemos de tener en cuenta lo siguiente, por lo tanto:

- Si sólo existe información acerca de las dependencias globales y estructurales, podemos utilizar la dinámica de sistemas.
- Si el sistema es fácil de describir como un proceso, se sugiere un enfoque de eventos discretos.
- Si hay una base de datos individuales se puede utilizar un enfoque basado en agentes.
- Y si el sistema es lo suficientemente complejo como es probable que tenga todos esos aspectos, es aquí donde el software AnyLogic© nos da la facilidad de realizar un modelo donde podamos combinar estos diferentes métodos de modelación.

En la figura 3. Se puede observar la posición de los distintos niveles de abstracción y la posición que tienen en esta los métodos de simulación mencionados.

NIVEL DE ABSTRACCION	CARACTERISTICAS		
ALTO	Nivel de Abstraccion Macro Nivel estrategico		BASADA EN AGENTES <ul style="list-style-type: none"> • Objetos Activos • Rsglas individuales de Comportamiento • Interaccion Directa o Indirecta • Modelos de Entorno
MEDIANO	Nivel de abstraccion Medio Nivel Tactico	EVENTOS DISCRETOS (DE) <ul style="list-style-type: none"> • Entidades (objetos pasivos) • Diagramas de flujo y / o redes de transporte • Recursos 	SISTEMAS DINAMICOS (SD) <ul style="list-style-type: none"> • Niveles (Agregados) • Stock y diagramas de flujo • Loops de retroalimentación
BAJO	Nivel de abstraccion Micro Nivel Operacional		<ul style="list-style-type: none"> • Las variables de estado fisico • Diagramas de bloques y / o ecuaciones Algebraico-Diferenciales
		PRINCIPALMENTE DISCRETO	PRINCIPALMENTE CONTINUO

Figura 3. Escala de los niveles de abstracción y los modelos de simulación

10.2. DESCRIPCION E INTRODUCCION A LA SIMULACIÓN CON SISTEMAS MULTI-AGENTES (SMA) Y SU RELACIÓN CON EL “JUEGO DE LA CERVEZA”.

10.2.1. Descripción e introducción a la simulación multi-Agentes y su relación con la cadena de suministro y el “Juego de la Cerveza”

La simulación Basada en Agentes nace a partir del esfuerzo de la inteligencia Artificial (AI) por representar, construir y entender las capacidades inteligentes involucradas en las distintas entidades individuales con el fin de resolver problemas complejos. De aquí posteriormente con la finalidad de complementar ciertas limitantes que tenían las investigaciones que tenía la AI se desarrolló un sub-campo de esta donde se aprobó el desarrollo de métodos que identificaran las inteligencias individuales de un sistema para que conllevaran a una inteligencia colectiva de los

mismos. He aquí donde se denominó la Inteligencia Artificial Distribuida (AID), la cual es la “Inteligencia artificial” que conocemos actualmente.

Esta IAD consiste en la distribución de unos conocimientos en un grupo de entidades autónomas y en sus interacciones, por tanto la solución de problemas distribuidos, la solución de problemas paralelos y La simulación con Sistemas multi-Agentes (SMA) constituyen corrientes importantes de la investigación desarrollada por la Inteligencia Artificial Distribuida (DAI).

La Simulación Basada en sistemas multi-Agentes (SMA) se concentra en la conducta colectiva que resulta de la organización e interacciones entre agentes para la resolución de problemas, donde este tipo de modelado tiene como propósito desarrollar entidades que tenga la capacidad de exhibir comportamientos inteligentes.

- *Definición de un Agente.*

En la actualidad no existe una definición Universal para definir el término de “Agente”, debido a que desde el nacimiento de la IAD eran múltiples y variadas las aplicaciones que este concepto tenía. Sin embargo, existe un concepto general sobre las características que debe poseer un agente: Metas Propias (Cierta nivel de autonomía), Sensores o receptores de información (Reacción sobre otros agentes y su entorno), Actuadores que ejecutan acciones (Pro-Actividad sobre otros agentes y su entorno), herramientas de decisión e incluso Habilidad social según ciertas condiciones de su entorno.

Los agentes se construyen sobre “objetos de programación”, pero van mucho más allá de sus especificaciones, no todos los “objetos” los podemos mirar como “agentes”, esto depende de la aplicación y las necesidades que se tengan ya que estos tienen la capacidad de percibir la modificación de su entorno y realizar

acciones sobre este. Incluso, Hay que tener en cuenta que tipo de interacción poseen los agentes, puede ser directa o indirecta, esto permitiendo que el agente perciba información y reaccione a esta ya sea intercambiando datos con la finalidad de organizarse y lograr el objetivo final del modelo.

En nuestro caso para el juego de la cerveza cada uno de los eslabones de la cadena los podemos representar como agentes. Posteriormente en este trabajo de grado y según las definiciones que se plasmarán explicaré como podemos relacionar este modelo (Juego de la Cerveza) con los SMA.

10.2.2. Criterios para desarrollar un modelo de Sistemas multi-Agentes (SMA).

Cualquier aplicación o problema que sea analizado para ser modelado y simulado con sistemas multi-Agentes requiere que se tengan claros los siguientes elementos.

- Un medio: En general un espacio con una medida.
- Un conjunto de Objetos: Son posicionados en dicho espacio, estos pueden ser modificados, percibidos, creados, destruidos y modificados por los agentes.
- Un Grupo de Agentes: Son un subconjunto de objetos los cuales representan la actividad entre las entidades del sistema
- Un conjunto de Conexiones: Las cuales conectan tanto objetos como agentes.
- Un conjunto de Operaciones: Propician la posibilidad de que los agentes realicen sus tareas con el fin de buscar el objetivo final de modelo.
- Un conjunto de Operadores: Representan la aplicación de las operaciones y las reacciones del mundo para este intento de cambios.

Las características del SMA se pueden adaptar fácilmente a estos modelos relacionados con la cadena de suministro. Esto es posible para así representar y evaluar los eslabones que representan dicha cadena.

La cadena de suministros que nos proporciona el “Juego de la Cerveza” puede ser definida como un conjunto de entidades (eslabones de la cadena: Fabrica, Distribuidor, Mayorista y Minorista) las cuales comparten recursos y cooperan para el logro del objetivo común de dicho juego, el cual es minimizar al máximo los costos totales de la cadena. Por lo tanto nombraré los criterios que tenemos en cuenta según lo investigado y la construcción que tiene el “juego de la cerveza” para poder analizar la viabilidad que se tiene para simular dicho Juego con Sistemas multi-Agentes:

- En el “juego de la cerveza” los actores de la cadena realizan varias tareas de producción y negocios, un SMA está compuesto por multiplicidad de agentes con diferentes papeles y roles. Teniendo esto claro, se puede representar a cada eslabón de la cadena del juego como un agente individual donde tendrá unos parámetros, variables y una secuencia lógica establecida según el eslabón modelado (Fábrica, Distribuidor, Mayorista y Minorista).
- El “Juego de la cerveza” posee entidades/eslabones que tienen unas metas, parámetros y variables que son necesarios para la ejecución del modelo. Los agentes tienen objetivos, roles y habilidades de razonamiento los cuales se relacionan y buscan un fin en común.
- Los eslabones del juego de la cerveza toman decisiones a través de los métodos de coordinación y/o negociación. Los agentes son autónomos, perciben el cambio del ambiente, pueden ser proactivos y de acuerdo al modelo tienen capacidades sociales. En el modelo a mostrar cada eslabón modelado es un objeto reactivo el cual posee unos parámetros, unas variables y unos algoritmos

que complementan los criterios de decisión de cada eslabón, de acuerdo a la información que es percibida a la hora de simular el modelo.

- La relación entre los eslabones del “juego de la cerveza” es a través de cajas de cerveza e información por lo que es viable de acuerdo a los criterios que se tengan para simular el modelo, establecer por cada eslabón/Agente la manera de que la interacción y la información entre ellos sea exitosa y así el eslabón/Agente receptor ejecute su lógica interna estableciendo una respuesta óptima de acuerdo al objetivo final del modelo. Esta interacción conlleva a la asignación de tareas entre estos agentes de manera que se llegue a cumplir el objetivo principal del sistema.

Por lo tanto, El “juego de la cerveza” es un modelo el cual está compuesto por entidades que tienen un rol en la cadena de suministro (Fabrica, Mayorista, etc), Estas entidades ya con el conocimiento que tenemos referente a la SMA a la hora de realizar un modelo aplicado a dicho Juego las podemos definir como agentes individuales los cuales cada uno de ellos tiene recursos, medios, capacidades, etc. Permitiendo llevar a cabo diversas funciones o tareas en forma individual o colectiva y cumplir con el objetivo del modelo.

Las propiedades del SMA facilitan definir el comportamiento de la simulación que es basado en entidades autónomas en nuestro caso los eslabones de la cadena de suministro del “Juego de la cerveza”: Fabrica, Mayorista, etc. Incluso, representar el comportamiento individual de los agentes (entidades/eslabones) y su interacción así como las consecuencias de estas interacciones en el modelo.

Los componentes básicos del sistema real (“Juego de la cerveza”) están explícita e individualmente representados, por lo tanto, los criterios que definen a los componentes principales del juego de la cerveza (fábrica, mayorista, etc.) se definen

como agentes individuales y las interacciones que tienen estos agentes corresponden con el flujo de información y producto entre estas entidades/eslabones. Esto depende de igual forma de la tipología del agente y por ende de la lógica que se tiene incrustada en cada uno de estos según la abstracción del modelo. La interacción de los componentes individuales o agentes (en este caso las fábricas) a medida que se ejecuta el modelo puede generar patrones de comportamiento y resultados que se programaron desde la parte individual de los componentes generando el marco principal del modelo.

En conclusión la relación entre entidad y agente es razonable, esto lo muestran las investigaciones hechas y propuestas en este trabajo, lo que nos conlleva a simular dicho juego en el software AnyLogic© con este enfoque de modelación.

10.3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE ANYLOGIC© Y SU RELACIÓN CON LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES.

En 1998 el grupo de investigación DNC (Distributed Computer Network) de la Universidad Técnica de San Petersburgo después de varios años de haber desarrollado proyectos de investigación enfocados al desarrollo de software y a la simulación, decidió crear una compañía con la misión de desarrollar una nueva herramienta de simulación la cual nombraron AnyLogic©.

El lanzamiento de la primera versión fue en el año 2000 y se basó en las ventajas de las más recientes tecnologías de la información como el enfoque de programación orientada a objetos, los elementos estándar UML y la utilización del lenguaje Java⁷.

¹ Java es un lenguaje de programación orientado a objetos originalmente desarrollado por James Gosling de Sun Microsystems (la cual fue adquirida por la

AnyLogic©. Incluye un lenguaje de modelado gráfico y también permite que los usuarios puedan ampliar los modelos de simulación en código Java. Esto se presta para facilidad del usuario en caso de querer hacer modificaciones del modelo para requisitos particulares de modelación, además se pueden crear applets⁸ que pueden ser ejecutados en cualquier navegador estándar y ser compartidos vía mail o ser localizados en la red de cualquier website.

Este software posee una característica poco común a otros software de simulación conocidos y es que se pueden desarrollar e incluso combinar en un mismo modelo tres diferentes tipos de enfoques de simulación. En este caso: La simulación Dinámica de sistemas (“System Dynamic”, SD), Simulación de Eventos Discretos (“Discrete Event”, DE) y la simulación Basada en agentes (“Agent Based Modelling”, ABM).

La “simulación Dinámica de sistemas” y la “simulación de eventos discretos” son enfoques tradicionales de simulación que han sido históricamente enseñados en las universidades, dando como resultado dos comunidades profesionales que no se relacionan mucho la una a la otra. La “simulación basada en sistemas multi-Agentes” que es el tema principal de este proyecto, es un enfoque nuevo y fue puramente académico hasta hace algunos unos años, pero la demanda de las compañías en la búsqueda de optimizar sus procesos ha llevado la simulación a impulsar los modeladores y evaluar modelos combinados de simulación y así, llegar a niveles mayores de detalle en sus problemas de optimización. AnyLogic© como herramienta de simulación tiene la capacidad de combinar estos tres métodos en

compañía Oracle) y publicado en el 1995 como un componente fundamental de la plataforma Java de Sun Microsystems.

⁸ Un Applet es un componente de una aplicación que se ejecuta en el contexto de otro programa, por ejemplo en un navegador web

un mismo modelo. Así, como ejemplo para denotar una combinación de la “simulación Basada en sistemas multi-Agentes” y la “simulación por eventos discretos” y tener una idea de lo que puede hacer esta herramienta, se puede definir un modelo basado en la industria del transporte marítimo, donde cada una de sus naves actúen como “agentes” reaccionando independientemente y al mismo tiempo el funcionamiento interno de sus redes de transporte e infraestructura puedan ser representadas con un modelo de simulación de “eventos discretos”.

A continuación nombrare dos criterios utilizados para seleccionar el software AnyLogic© como herramienta para dicho el desarrollo del proyecto:

- En el mercado actual no existe una herramienta tan amigable que facilite la construcción y descripción de modelos enfocados a la “simulación basadas en agentes”.
- Tiene librerías con herramientas y objetos pre-construidos como los siguientes: Niveles de apoyo (variables, ecuaciones, parámetros, eventos, etc), formas de presentación (líneas, polilíneas, óvalos, etc), elementos de análisis (conjuntos de datos, histogramas, diagramas), herramientas de conectividad (Diagramas de estado - Agentes y Eventos discretos, Diagramas de flujo – Dinámica de sistemas, Diagramas de acción - algoritmos), imágenes estándar (Iconos de animación), y estructuras experimentales (Escenarios de Simulación y optimización). Por lo que el entorno visual es muy amigable lo cual facilita un mayor entendimiento de los modelos.

10.4. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO DEL “JUEGO DE LA CERVEZA” CON SISTEMAS MULTI-AGENTES EN EL SOFTWARE ANYLOGIC®

10.4.1. Descripción del “Juego de la Cerveza”.

El “Juego de la cerveza” es un juego desarrollado en los años 60 por profesores del MIT, y simula las características claves de la cadena de suministro con el objetivo principal de demostrar principios críticos de esta y ejemplificar que algunas decisiones lógicas que tomamos a pesar de parecernos coherentes, con frecuencia dan resultados no esperados e incluso no deseados. Dicho juego se puede poner en práctica tanto para estudiantes que estén introduciéndose en el tema de la logística de la cadena de suministro como a profesionales y directivos importantes de compañías.

Hay varios criterios a tener en cuenta para desarrollar dicho juego. Inicialmente tener como mínimo 4 jugadores que representen una cadena de suministro completa (El minorista, el mayorista, el distribuidor y la fábrica). Y cada una de sus posiciones posee su inventario de cerveza, hace pedidos y despacha embarques de cerveza al sector superior e inferior de la cadena. Cada eslabón tiene la opción de tomar cualquier decisión dándonos como objetivo principal de administrar el eslabón que le corresponda a cada jugador de manera que se minimicen los costos totales del equipo.

Este juego consiste en satisfacer la demanda de cajas de cerveza a través de la cadena de suministro con un gasto mínimo en los pedidos pendientes y el inventario. Los jugadores pueden ver el inventario de cada uno, pero sólo un jugador ve la demanda real del cliente. La comunicación verbal entre los jugadores está en contra de las reglas por lo que los sentimientos de confusión y decepción son comunes.

10.4.2. Explicación general del modelo del “Juego de la Cerveza” en el software AnyLogic

10.4.2.1. Introducción al Juego de la Cerveza

El modelo del “juego de la cerveza” que modelaremos de forma general muestra:

- Cómo cada una de las partes individuales del sistema interactúan mutuamente con un concepto distinto de simulación (SMA).
- Cómo el pensamiento individual (SMA) difiere del pensamiento sistémico (Pensamiento en red).
- Cómo El Juego de la Cerveza funciona con este nuevo enfoque de modelación (SMA) en el Software AnyLogic.

10.4.2.2. Configuración General del Juego de la Cerveza

El juego de la cerveza de la cadena de suministro consta de cuatro etapas:

- El vendedor tiene que cumplir con los pedidos del consumidor final.
- El mayorista tiene que cumplir con los pedidos del minorista.
- El distribuidor tiene que cumplir con los pedidos del mayorista.
- La fábrica tiene que producir la cerveza para cumplir con los pedidos del distribuidor.

10.4.2.3. El Objetivo del Juego de la Cerveza

El Objetivo este juego consiste en satisfacer la demanda de cajas de cerveza a través de la cadena de suministro con un gasto mínimo en los pedidos pendientes y el inventario.

Hay dos tipos diferentes de costos:

1. El costo de inventario, el cual definimos como el costo de mantenimiento de las cajas de cerveza que se encuentran en stock, este costo se estima en $X\$$ caja/semana.
2. El costo de atraso, el cual se genera en el momento en que una orden no puede ser (totalmente) cumplida. En este caso las cajas de cerveza que están pendientes por ser entregadas tienen que ser puestas en "pedido-pendiente" para que el despacho sea cumplido en los días siguientes. El costo de atraso de cada caja de cerveza que esté en orden de espera se estima en $Y\$$ caja/día.

El costo de inventario (X) y el costo de atraso (Y) se establecen antes de que comience el juego por el usuario.

10.4.2.4. Procedimiento general del Juego

Cada día, cada grupo de la cadena de suministro debe de proceder con los siguientes pasos:

- Recibir nuevas entregas
- Recibir los pedidos
- Calcular la cantidad total que será enviada ("su entrega"), registrar la cantidad, y enviarla al siguiente jugador.
- Calcular una nueva cantidad a pedir, y enviar la orden

10.4.2.5. Configuración del Juego de la Cerveza

La persona que este ejecutando el modelo puede:

- Elegir el modo de juego y jugar para el minorista, mayorista, distribuidor, fábrica o cualquier combinación de ellos.
- En Cada paso de ejecución del modelo este puede ordenar cerveza a su proveedor.
- Cada orden será procesada de forma automática y el producto será enviado si hay suficiente cantidad disponible en el inventario. Consideremos que el jugador También debe considerar los retrasos en la entrega de su pedido y el retraso en el despacho de las cajas de cerveza solicitadas por su proveedor.

0. ASIMILACIÓN, ANÁLISIS Y EXPLICACIÓN DE LOS AGENTES, VARIABLES Y PARÁMETROS QUE ESTÁN ADSCRITOS AL “JUEGO DE LA CERVEZA” ENFOCADO A LA SIMULACIÓN CON SISTEMAS MULTI-AGENTES EN EL SOFTWARE ANYLOGIC®

Antes de dar una explicación más gráfica y detallada del modelo del “juego de la cerveza” en el software Anylogic se explican en la tabla 3. Los “elementos” usados en dicho software para la construcción del modelo de manera que nos facilite el entendimiento de la elaboración del mismo.

<i>Elemento</i>	<i>Clase</i>
Agentes	Los agentes pueden representar diversas cosas: vehículos, equipos, proyectos, productos, ideas, organizaciones, inversiones, parcelaciones, personas en diferentes roles, etc. Además de que son los principales bloques de construcción de modelo AnyLogic. Estos

	<p>son considerados las unidades de diseño de los modelos ya que pueden tener comportamiento, memoria (historia), interacción, etc.</p> <p>Dentro de un agente se pueden definir variables, eventos, gráficos de estado, flujos, diagramas y también se puede incrustar otros agentes, e incluso diagramas de flujo de proceso.</p> <p>El diseño de un agente normalmente comienza con la identificación de sus atributos, el comportamiento y la interfaz con el mundo exterior. En caso de gran número de agentes con conexiones dinámicas (como las redes sociales) los agentes pueden comunicarse mediante llamadas a funciones.</p> <p>El estado interno de un agente y el comportamiento se pueden implementar de diversas maneras. El estado del agente puede ser representado por una serie de variables, diagramas de estado, etc. El comportamiento puede ser pasivo (por ejemplo, hay agentes que sólo reaccionan a las llegadas de mensajes o llamadas de funciones y no tienen su propio tiempo), o agentes activos, cuando la dinámica interna (tiempos de espera o de dinámica de sistemas procesos) del agente hace que se active. En este último caso, los agentes más probablemente tendrían eventos y / o objetos de diagramas de estado que es nuestro caso con el modelo del Juego de la cerveza.</p>
<p>Parámetro</p>	<p>El Agente puede tener parámetros. Los parámetros se utilizan con frecuencia para la representación de algunas características del objeto modelado. Son útiles cuando el objetos tienen el mismo comportamiento descrito en la clase, pero difieren en algunos valores de los parámetros.</p>

	<p>Hay una clara diferencia entre las variables y parámetros. Una variable representa un modelo de estado, y puede cambiar durante la simulación. Un parámetro se utiliza comúnmente para describir objetos estáticamente. Un parámetro es normalmente una constante en una sola simulación y se cambia sólo cuando se necesita ajustar su comportamiento en el modelo. Todos los parámetros son visibles y cambiantes a lo largo de la ejecución del modelo.</p> <p>Igual otras herramientas de simulación AnyLogic admite parámetros de tipos primitivos: doble, int, boolean. Además te da posibilidades de parametrización de objetos mediante el apoyo a parámetros de tipo Java.</p>
Variable	<p>Los agentes pueden contener variables. Las variables se utilizan generalmente para almacenar los resultados del modelo de simulación o para modelar algunas unidades de datos o características de los objetos en función del tiempo.</p> <p>AnyLogic admite dos tipos de variables - variables y colecciones. Las colecciones se utilizan para definir los objetos de datos que agrupan a varios elementos en una sola unidad y la variable es una simple variable de un tipo escalar arbitrario o clase Java que Siempre tiene algún valor asignado. Se especifica el valor inicial de la variable en la propiedad del valor inicial. Si no se especifica un valor inicial, se aplican las normas de Java, por ejemplo, una variable de tipo double se establece en 0.</p>
Evento Dinámico	<p>Los eventos dinámicos se utilizan para programar cualquier número de eventos simultáneos e independientes. Por ejemplo, un canal de comunicación que es capaz de transmitir un número arbitrario de</p>

	<p>mensajes a la vez puede ser modelada con la ayuda de eventos dinámicos que se crean para cada mensaje. Otro ejemplo es un servidor con capacidad infinita.</p>
<p>Evento</p>	<p>Evento es la forma más sencilla de programar alguna acción en el modelo. Por lo tanto, los eventos se utilizan comúnmente para modelar retrasos y tiempos de espera. A veces se puede hacer lo mismo usando transiciones temporizadas en gráficos de estado, pero los acontecimientos podría ser más eficiente con un evento.</p> <p>Hay tres tipos de eventos:</p> <p><i>Tiempo de espera de evento activado:</i> Se utiliza cuando se necesita hacer una acción en un momento determinado de tiempo (o alguna fecha en particular) .El evento se produce exactamente en el tiempo de espera después de que se inicia. También se puede especificar que expire una vez o cíclicamente, o ser totalmente controlado por el usuario.</p> <p><i>Condición evento activado:</i> Se utiliza cuando se quiere controlar una determinada condición y ejecutar una acción cuando esta condición sea verdadera.</p> <p><i>Tasa evento activado:</i> Se utiliza para modelar un flujo de eventos independientes (corriente de Poisson). Con frecuencia se necesita para llegadas modelo: por ejemplo, llegadas de clientes en sistemas de colas, las llegadas de transacción en los modelos de redes basadas en servidor, etc.</p>

Colección	Las colecciones se utilizan para definir los objetos de datos que agrupan a varios elementos en una sola unidad. Las colecciones se utilizan para almacenar, recuperar y manipular datos agregados. Por lo general, representan elementos de datos que forman un grupo natural, como una cola (en este caso elementos que representan personas esperando en una cola), o una guía telefónica (una colección que realiza el mapeo de nombres a números de teléfono).
Función	Esta función devolverá el valor de una expresión cada vez que el usuario llame esta a partir del modelo. Las funciones son útiles cuando se necesita volver a utilizar la misma en varios lugares del modelo. Este elemento "Función" es programable en lenguaje Java.
Funciones de tabla	AnyLogic también es compatible con el tipo especial de funciones - funciones de tabla. Una función de tabla es una función definida en forma de matriz. Esta puede ser continua mediante la interpolación y / o extrapolación y se utiliza también para para definir una relación no lineal compleja que no puede ser descrita como una composición de funciones estándar, o para llevar los datos experimentales como una función de tabla de un modo continuo
Puertos	Los puertos desempeñan un papel central en el mecanismo de flujo de mensajes. Los mensajes se envían y reciben a través de los puertos. Los puertos son bidireccionales y pueden servir tanto para la entrada y salida de información.
Conector	Para establecer una interacción entre objetos se necesita conectar los elementos respectivos de la interfaz de los agentes con los conectores. Un conector es una línea que conecta dos puertos o dos variables.

	La conexión de dos puertos significa que se pasarán mensajes entre ellos. La Conexión de las variables significa que van a tener el mismo valor en cualquier momento del tiempo (el cambio de una variable se propaga inmediatamente a otra variable declarada como externa).
Gráficos de acción	AnyLogic soporta gráficos de acción - gráficos de bloques estructurados que permiten definir los algoritmos de forma gráfica al estilo de la programación estructurada. Con estos gráficos se pueden definir algoritmos con la sintaxis de los operadores de Java Mediante cuadros de acción dando un beneficio más evidente: se visualiza el algoritmo implementado.

Tabla 3. “Elementos” usados en dicho software para la construcción del modelo.

Teniendo en cuenta la información descrita en el cuadro anterior se podrá observar una explicación macro del modelo en general y consecuentemente el detalle interno de los agentes del sistema de una manera más clara. Esto con la finalidad de compartir más amigablemente la estructura y el método que estamos manejando en el modelo (Juego de la cerveza - Simulación Basada en Agentes).

Dicho modelo de simulación como lo describimos anteriormente está compuesto por un total de cuatro eslabones (Fabrica, mayorista, minorista y Cliente) los cuales a diferencia de la simulación dinámica cada uno de estos se define como un objeto o agente individual del sistema los cuales poseen internamente una secuencia lógica (Diagrama de acción) que es la responsable de generar la toma de decisiones individuales de cada uno de estos agentes. Esta secuencia lógica o algoritmo de acuerdo a su nivel de complejidad puede aprender, interactuar y retroalimentar el

conjunto de objetos que interactúen en dicho sistema y conjuntamente tomar decisiones que optimicen los resultados de la simulación del modelo.

Cuando se visualiza el modelo se identifican tres macro sistemas:

Dos de ellos son agentes que interactúan entre sí (Main y Player) y un tercer sistema que es la interfaz de la simulación donde se pueden manipular los datos y se registran estadísticamente los resultados de las distintas simulaciones del modelo. Cada uno de estos sistemas posee variables, parámetros, conexiones, puertos, funciones, etc. que hacen que el modelo se ejecute correctamente.

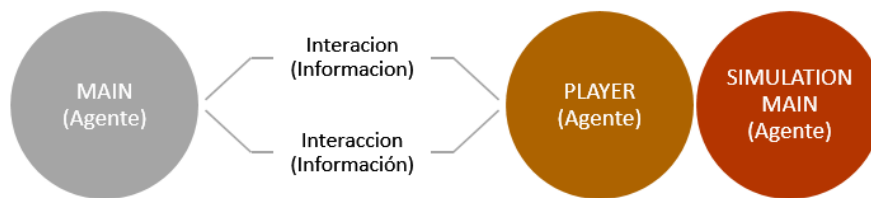


Figura 4. Sistemas principales del modelo

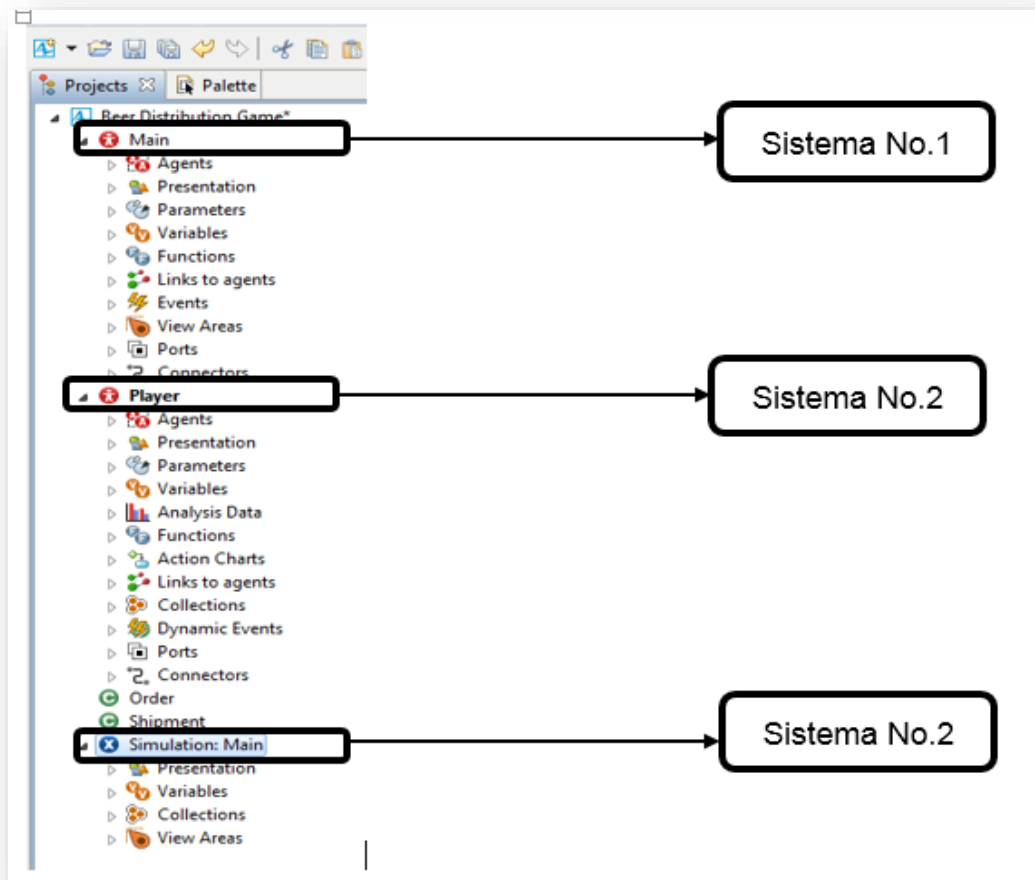


Figura 5. Detalle Sistemas principales del modelo en el software Anylogic

A continuación se explica brevemente cada uno de estos sistemas y cómo interactúan entre sí. El detalle de la información que componen cada una de las variables, parámetros, colecciones, funciones, diagramas de estado, etc. para permitir que el modelo se ejecute lo podrán visualizar en los archivos anexos al proyecto.

- 1. Main (Sistema No.1):** Es un agente que posee internamente el conjunto de los cuatro eslabones (agentes individuales relacionados entre sí) donde se

encuentra el total de variables, parámetros y algoritmos asociados a cada uno de los agentes del modelo: Fabrica, Mayorista, Minorista y cliente (Main).

En la figura 5 se observa en el recuadro No.1 Uno de los gráficos principales de la interfaz del modelo con el usuario. Aquí la persona que ejecuta la simulación puede visualizar como a medida que es ejecutada la modelación varían dichos parámetros y variables asociados a esta simulación en el tiempo. También se puede visualizar la gráfica en tiempo real del inventario y las ordenes que genera cada uno de los agentes según las funciones, variables y parámetros que se asignaron en el desarrollo del mismo.

Entre parámetros y variables se encuentran los siguientes datos: El inventario, el inventario esperado, las unidades enviadas, Las unidades ordenadas, el costo acumulado del inventario y el costo acumulado por atrasos.

En el Recuadro No.2 de la figura 5. se visualiza el total de parámetros variables, Funciones, eventos y colecciones que se asocian al funcionamiento del agente Main, entre ellos las constantes utilizadas, ecuaciones relacionadas a la lógica de la simulación e incluso algoritmos en lenguaje java (Funciones) que determinan el comportamiento e interacción entre cada uno de los agentes internos de este agente principal.

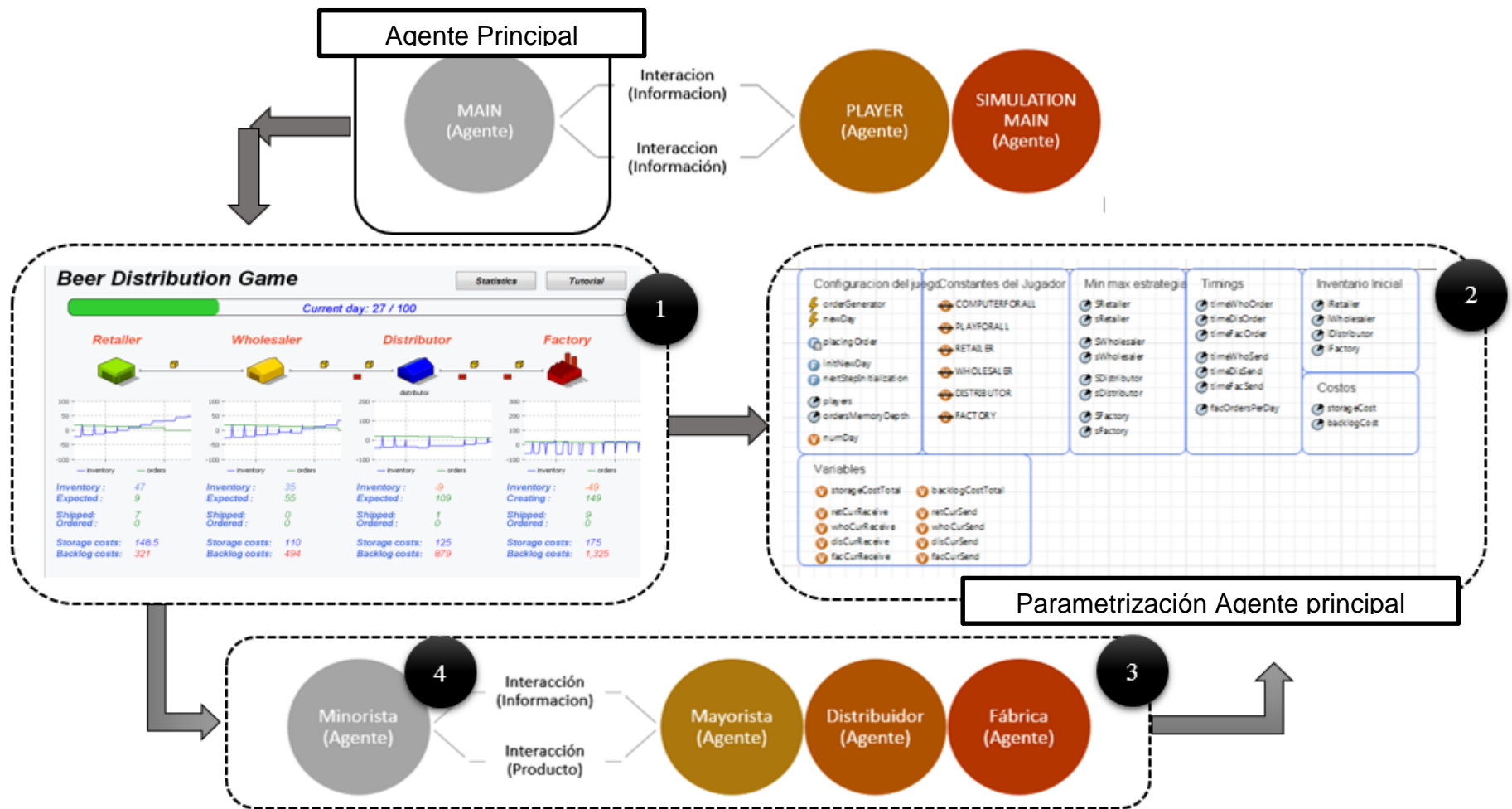


Figura 6. Esquema del agente principal del modelo en el Software Anylogic

2. Player (Sistema No.2): Es un agente que está compuesto por el conjunto de variables, parámetros y algoritmos que gestionan el control por parte del jugador (Player). Este puede ser activado o desactivado en el momento en que se desee, incluso se pueden activar simultáneamente varios eslabones al tiempo de manera manual dando la opción al usuario de participar directamente en la ejecución del modelo y de cada una de las decisiones tomadas en el transcurso de la simulación conocer las consecuencias en el sistema de cada una de estas acciones.

En esta parte del modelo ya se adentra al detalle de los agentes internos del agente principal Main. En la Figura No.6 se visualiza que internamente los agentes: Fábrica, Mayorista, Minorista y cliente también tienen eventos, funciones, parámetros, colecciones y variables asociados a los mismos los cuales a diferencia del agente Main tienen programado por medio de Action Charts o diagramas de bloques (Recuadro No.6) la secuencia Lógica que rige individual e internamente a cada uno de estos: Fábrica, Mayorista, Minorista y cliente (Agentes).

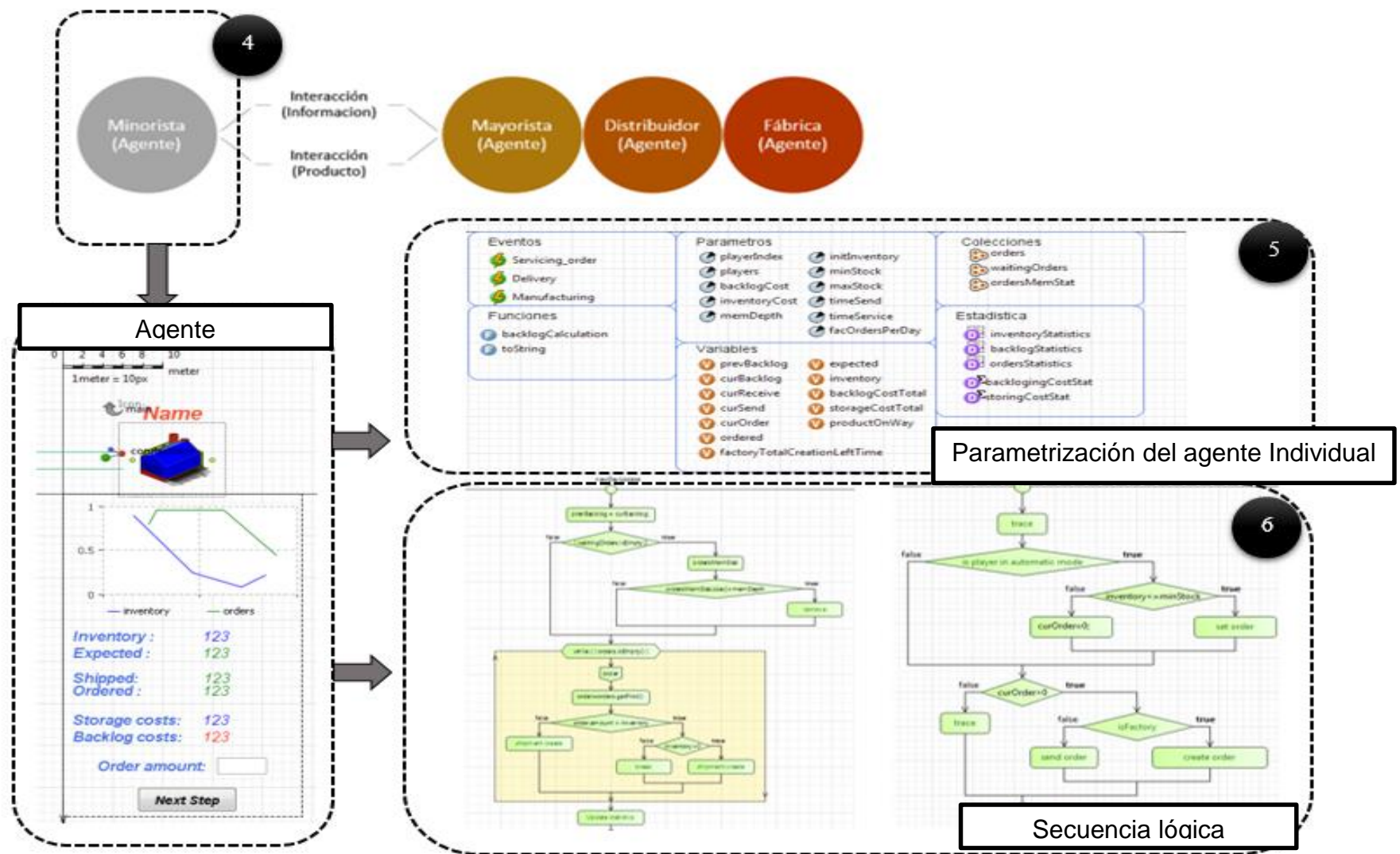


Figura 7. Esquema del agente interno (Player) del modelo en el Software Anylogic

3. **Simulation Main (Sistema No.3):** Es la interfaz de simulación donde también hay un conjunto de variables, parámetros y algoritmos que gestionan las condiciones de la simulación además de la estadística y recolección de datos en las distintas ejecuciones del modelo. Este modelo tiene la opción de controlar y manipular en caso de correr la simulación cualquiera de los eslabones manualmente incluso varios simultáneamente o simplemente dejar que el sistema corra automáticamente ya con la lógica programada internamente.



Figura 8. Esquema de la Simulación principal del Modelo (Simulation Main)

11.RESULTADOS

11.1. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO.

En los Anexos adjuntos al proyecto podemos visualizar en detalle toda la parametrización y programación de todos los eventos, eventos dinámicos, Colecciones, Funciones, Funciones de tabla, Puertos, Conectores y Gráficos de acción del modelo, por lo tanto, se mostrará en este análisis solo los datos de entrada generales para que dicha simulación sea ejecutada y por ende exponer los resultados y conclusiones del mismo en dos diferentes escenarios:

El primero de estos (Escenario No.1) será con los datos estándar ajustados para que el modelo sea simulado y estabilizado por la computadora la cual tiene programado el total de agentes (Eslabones) con este tipo de Lógica y simulación (SMA) y en el segundo escenario (Escenario No.2) asumiremos en uno de los cuatro eslabones el rol de Jugador (Mayorista) donde en cada corrida de la simulación alimentaré manualmente los datos que requiere el modelo para dicho eslabón (Mayorista), en este caso “cantidad a ordenar” buscando evitar el efecto látigo.

De esta manera visualizaremos como la toma de decisiones por parte nuestra impacta los resultados finales de la simulación y se diferencia a los resultados expuestos por la lógica desarrollada en el software cuando este es completamente autónomo en las condiciones de programación basada en sistemas multi-agentes (SMA).

11.1.1. Escenario No.1: (simulación autónoma basada en sistemas multi agentes – Modo Computadora)

- Datos de entrada

Parámetros		
Días de Simulación	100	Días
Costo por Inventario	0,5	\$ Caja de Cerveza/Día
Costo por atraso de entrega	1	\$ Caja de Cerveza/Día
Procesamiento de la Orden	2	Días
Tiempo de Entrega	2	Días

	Minorista (Agente)	Mayorista (Agente)	Distribuidor (Agente)	Fábrica (Agente)	Unidad de medida
Inventario Inicial	50	50	50	50	Cajas de Cerveza
Mínimo Nivel de Stock	30	30	30	30	Cajas de Cerveza
Máximo Nivel de Stock	50	50	50	50	Cajas de Cerveza
Cantidad Orden a pedir/ Día	Calculado por el Agente	Calculado por el Agente	Calculado por el Agente	Calculado por el Agente	Cajas de Cerveza

Tabla 4. Datos de entrada Escenario No.1

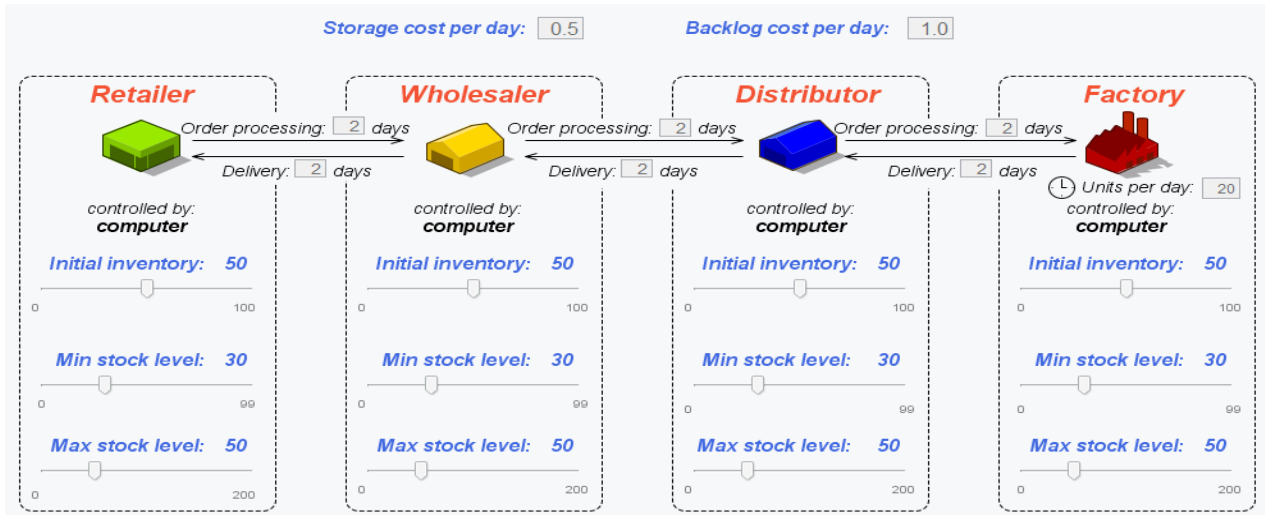


Figura 9. Esquema de la Simulación del Modelo en modo Computadora (Escenario No.1)

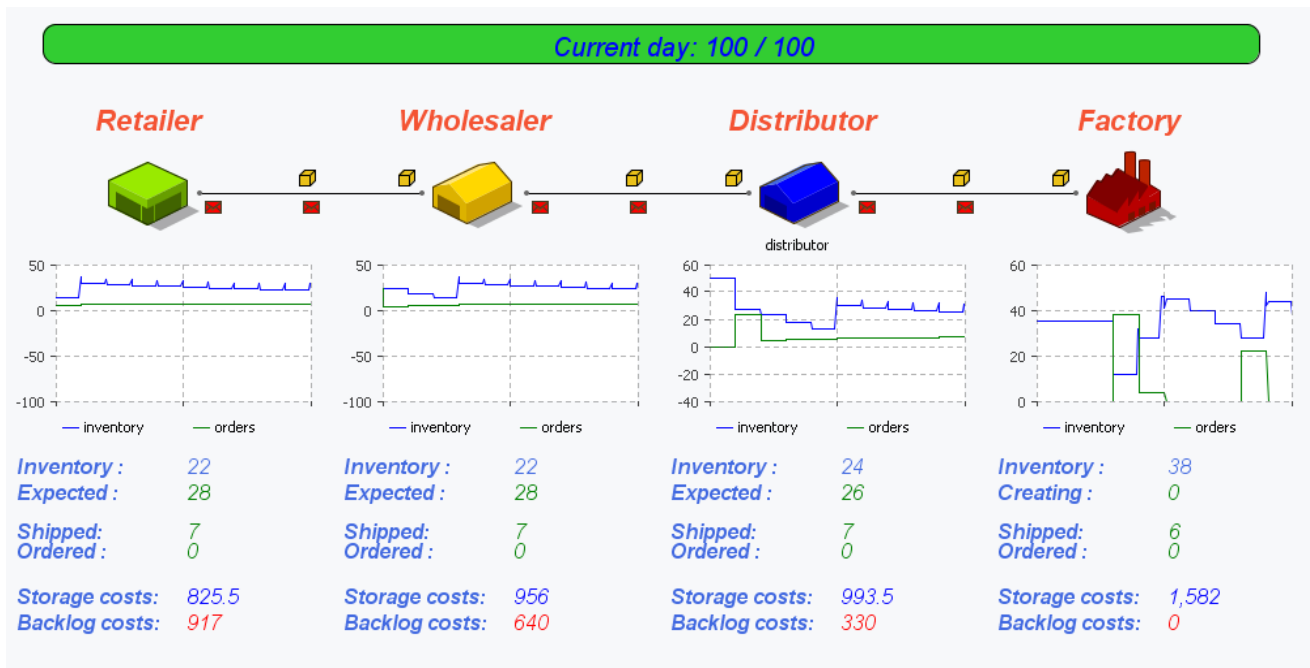
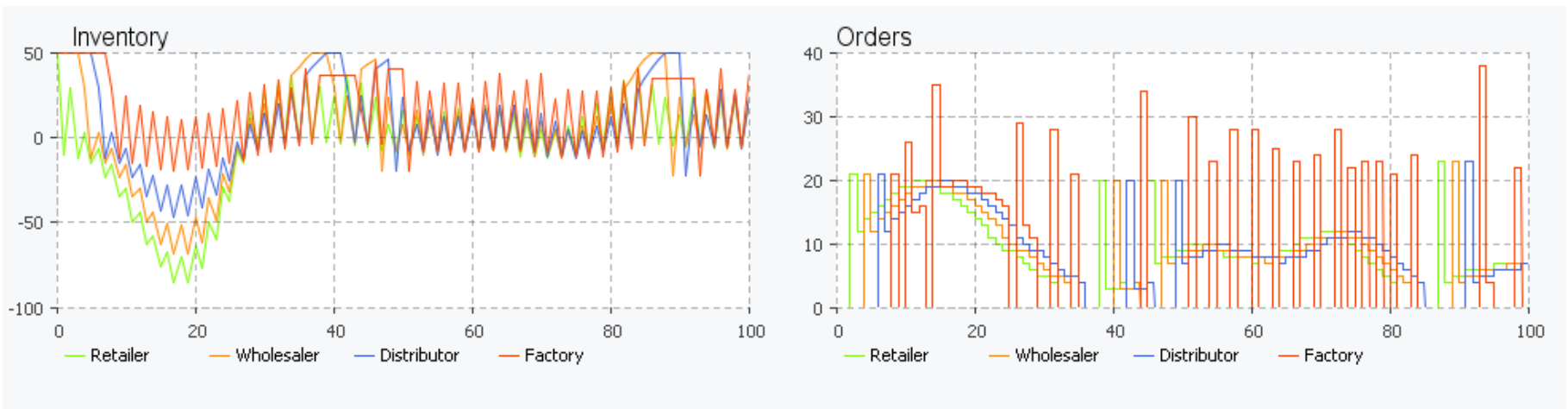


Figura 10. Modelo en ejecución - modo Computadora (Escenario No.1)



Costs	Inventory	Backlog	Total
Retailer	825.5	917	1,742.5
Wholesaler	956	640	1,596
Distributor	993.5	330	1,323.5
Factory	1,582	0	1,582
All players	4,357	1,887	6,244

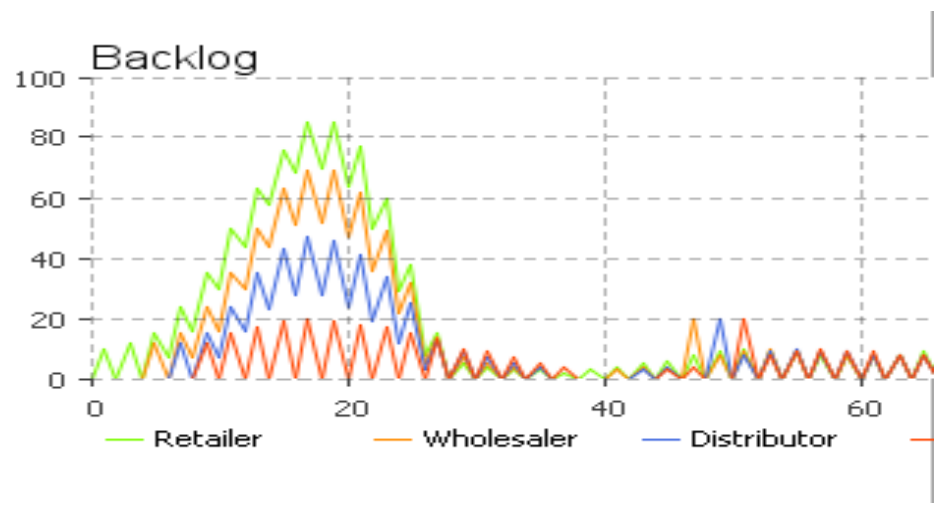


Figura 11. Resultados finales del Modelo – Modo Computadora (Escenario No.1)

11.1.2. Escenario No.2: (simulación autónoma basada en sistemas multi agentes – Modo Jugador)

- Datos de entrada

Parámetros		
Días de Simulación	100	Días
Costo por Inventario	0,5	\$ Caja de Cerveza/Día
Costo por atraso de entrega	1	\$ Caja de Cerveza/Día
Procesamiento de la Orden	2	Días
Tiempo de Entrega	2	Días

	Minorista (Agente)	Mayorista (Jugador)	Distribuidor (Agente)	Fábrica (Agente)	Unidad de medida
Inventario Inicial	50	N/A	50	50	Cajas de Cerveza
Mínimo Nivel de Stock	30	N/A	30	30	Cajas de Cerveza
Máximo Nivel de Stock	50	N/A	50	50	Cajas de Cerveza
Cantidad Orden a pedir/ Día	Calculado por el Agente	Calculado por el Jugador	Calculado por el Agente	Calculado por el Agente	Cajas de Cerveza

Tabla 5. Datos de Entrada escenario No.2

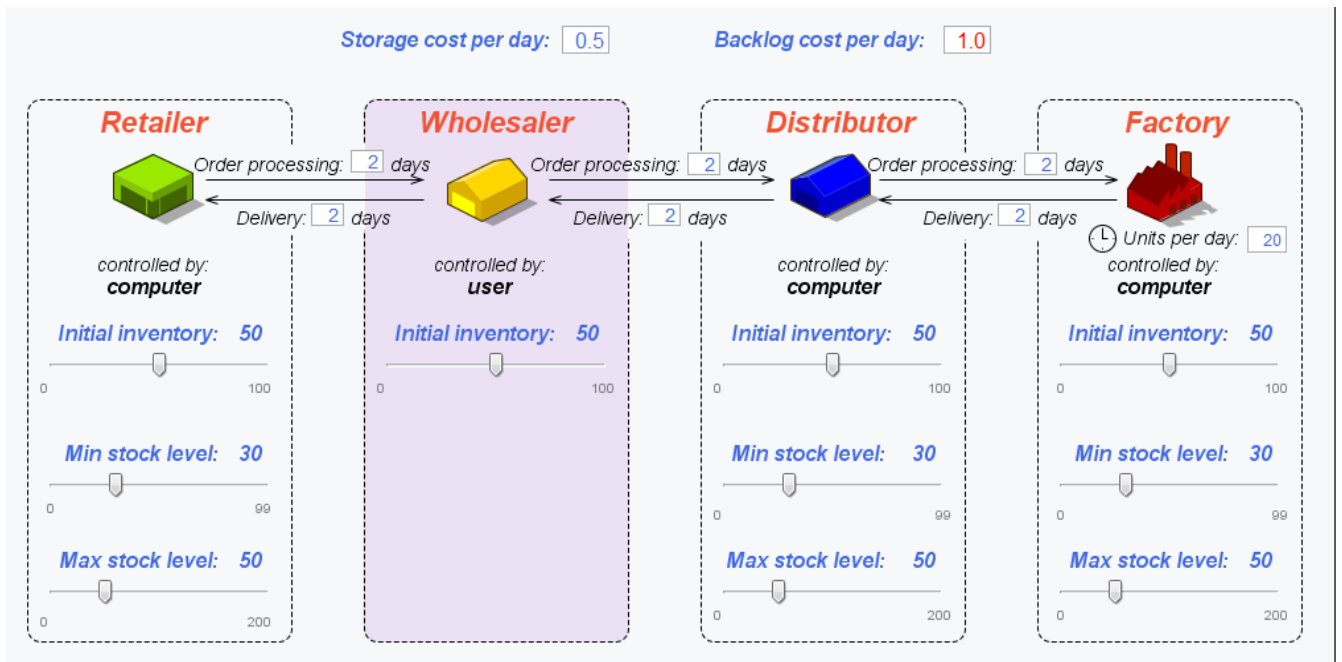


Figura 12. Esquema de la Simulación del Modelo en modo Jugador (Escenario No.2)

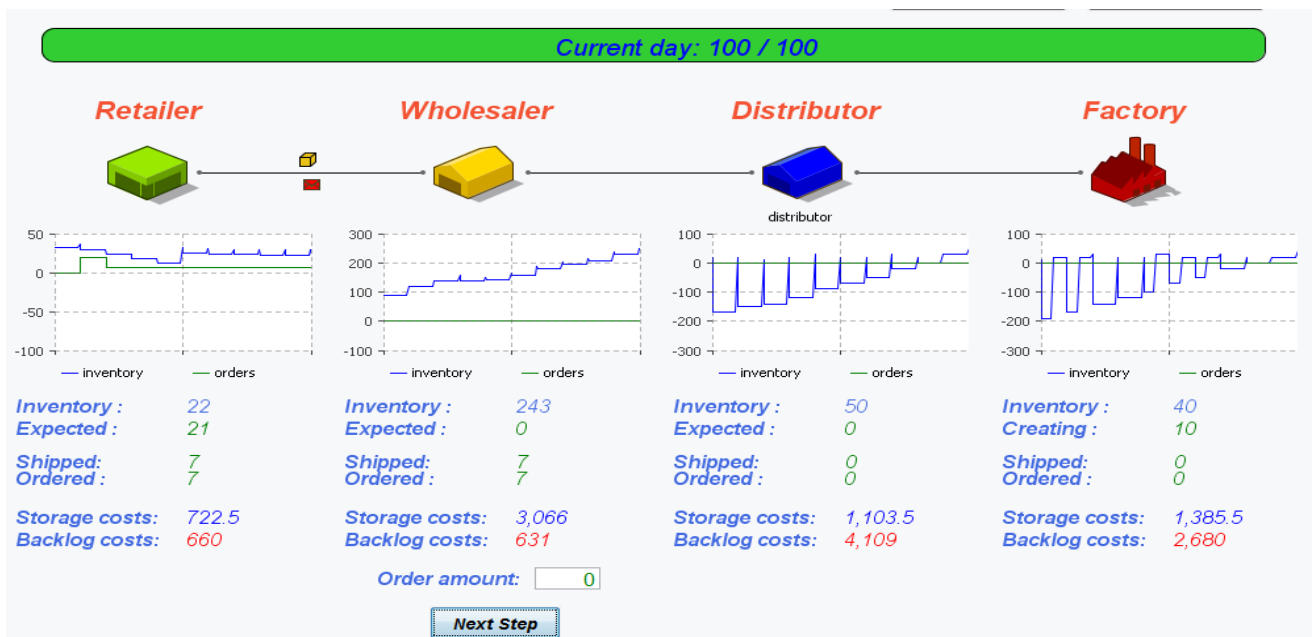


Figura 13. Modelo en ejecución Modo Jugador (Escenario No.2)



Costs	Inventory	Backlog	Total
Retailer	722.5	660	1,382.5
Wholesaler	3,066	631	3,697
Distributor	1,103.5	4,109	5,212.5
Factory	1,385.5	2,680	4,065.5
All players	6,277.5	8,080	14,357.5

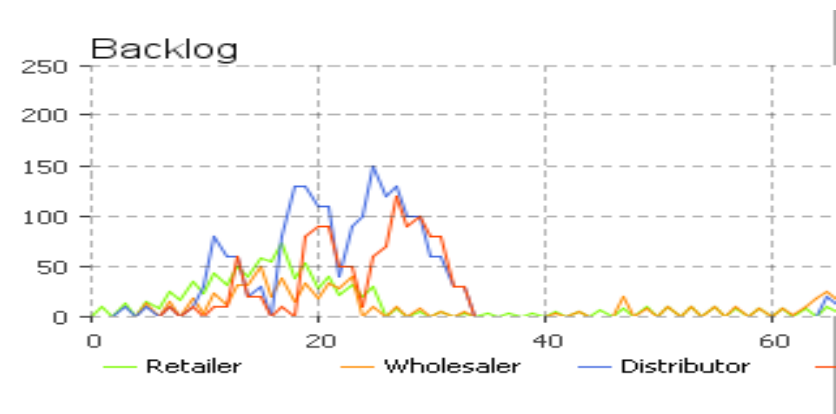


Figura 14. Resultados finales del Modelo – Modo Jugador (Escenario No.2)

Día	Cantidad Orden pedida (Cajas de cerveza)	Día	Cantidad Orden pedida (Cajas de cerveza)	Día	Cantidad Orden pedida (Cajas de cerveza)	Día	Cantidad Orden pedida (Cajas de cerveza)
1	10	26	30	51	0	76	0
2	10	27	0	52	0	77	0
3	10	28	0	53	0	78	50
4	10	29	0	54	0	79	50
5	10	30	0	55	0	80	50
6	10	31	0	56	0	81	50
7	10	32	0	57	0	82	50
8	10	33	30	58	0	83	70
9	50	34	30	59	0	84	70
10	50	35	0	60	0	85	0
11	0	36	0	61	0	86	0
12	0	37	0	62	20	87	0
13	10	38	0	63	20	88	0
14	10	39	0	64	20	89	0
15	10	40	0	65	20	90	0
16	10	41	0	66	43	91	0
17	0	42	0	67	0	92	0
18	0	43	0	68	0	93	0
19	0	44	0	69	0	94	0
20	0	45	0	70	0	95	0
21	20	46	0	71	0	96	0
22	20	47	0	72	0	97	0
23	20	48	0	73	0	98	0
24	20	49	0	74	0	99	0
25	30	50	0	75	0	100	0

Tabla 6. Datos ingresados para la simulación en modo jugador (Escenario No.2)

12. CONCLUSIONES

- Realizando la simulación del juego de la cerveza en el software Anylogic con el método de simulación basado en agentes teniendo en cuenta los dos distintos escenarios podemos ver que el modelo automático (Computadora) presenta mayor estabilidad en los resultados y amortigua el fenómeno que se presenta con este juego (Efecto Látigo). Esto demuestra que la simulación basada en agentes puede ser una buena herramienta para simular este tipo de escenarios en la cadena de suministros además de otros campos en los cuales también tiene aplicación y mencionamos en dicho trabajo.
- Mediante este proyecto de grado logramos conocer más a fondo la definición de lo que es la simulación basada en agentes dando a los estudiantes de la universidad Eafit otro punto de vista para la solución de problemas mediante la simulación además del desarrollo de un conocimiento que en nuestro medio no ha sido aplicado con el rigor científico necesario.
- concluirse concluye que la simulación basada en agentes Posibilita redimensionar la simulación de la cadena de suministro bajo un enfoque completamente distinto al ya conocido y en una herramienta de modelación aún no utilizada por la Universidad EAFIT (Anylogic®). Esto hace que Los estudiantes tomen la propuesta de este trabajo y desarrollen investigaciones con base en las metodologías explicadas además de la utilización de otro software el cual tiene gran flexibilidad en este campo.
- Con este proyecto se abre un espacio para la educación continua de los egresados de la Universidad EAFIT al acercarlos a temáticas que tienen actualmente un uso tanto investigativo como aplicativo en otros países y que aún no hay una cantidad considerable de registros de estudios relacionados con este tema y este software.

BLILOGRAFIA

- Arango, T. G. (2004). *Juegos y Ejercicios para la Administración de Operaciones*. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT.
- Barbuceanu, M., & Fox, M. S. (1996). The Architecture of an Agent Building Shell. En M. Wooldridge (Ed.), *Intelligent agents II* (págs. 235-250). Springer-Verlag.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain Design and Analysis: Models and Methods. *International Journal of Production Economics*(55), 281-294.
- Brueckner, S., Baumgaertel, H., Parunak H., V. D., Vanderbok, R., & Wilke, J. (2005). Agent Models of Supply Network Dynamics: Analisis, Design, and Operation. En T. P. Harrison (Ed.), *The practice of supply chain Management: Were theory and Application Converge*. Springer-Verlag.
- Calderón, J. L., & Lario, F. C. (2006). *Simulacion de cadenas de suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo*. Universidad Politecnica de Valencia, Centro de Investigacion Gestion e Ingeniería de Producción, Dpto. de organizaciones de Empresas, campus de Vera, Valencia.
- Cloutier, M., Frayret , J. M., D'Amours, S., Espinasse, B., & Montreuil, B. (2001). A commitment-Oriente Framework for Networked Manufacturing Co-ordination. *Int. J. of Computer Integrated Manufacturing*, 14(2), 522-534.
- Coral Salazar, A. C., & Zuleta Muñoz, J. M. (2010). *Diseño de una Guía Didáctica para el aprendizaje en el Área de la logística con el juego de la cerveza en el software iThink*. Proyecto de Grado, Universidad EAFIT, Dpto. Ingeniería de Producción, Medellín.
- Coral Salazar, A., & Zuleta Muñoz, J. (2010). *DISEÑO DE UNA GUÍA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE EN EL ÁREA DE LA LOGÍSTICA CON EL JUEGO DE LA CERVEZA EN EL SOFTWARE ITHINK*. Medellín: Proyecto de Grado.

- D'Amours, S., Montreuil, B., Lefrancois, P., & Soumis, F. (1999). Networked Manufacturing: The impact of information sharing. En S. D'amours, *Int. J. of Production Economics* (Vol. 58, págs. 63-79).
- Davidsson, P. (2000). Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation. *In Moss*, (págs. 97-107). Berlin.
- Dong-Hwan, K., & Jae-Ho, J. (1997). System Dynamics as a Modeling Platform. *Proceedings of the 15th International Conference of the System Dynamics Society*. Istanbul.
- Espinasse, B., Cloutier, L., & Lefrancois, P. (1998). A Coordinatuin Framework for Intelligent Agents in the Distributed Enterprise. En *Proc. of the Thent International IFIP* (págs. 565-578). Kluwer Academic.
- Ferber, J. (1999). *Multi-agent System. An introduction to distributed Artificial Intelligence*. London: Addison Wesley.
- Fisher, M., & Wooldridge, M. (1996). Towards Formal Methods for Agent-Based Systems. *Proceedings of the BCS-FACS Northern Formal Methods Workshop*. Ilkley.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT, Massachusetts, Cambridge.
- Galland, S., Grimaud, F., Beaune, P., & Campaigne, J. P. (2003). MAMA-S: An Introduction to a Methodological approach for the simulation of distributed industrial systems. *Int. J. Of Productions Economics*, 85(1), 11-31.
- Gilbert, & Nigel. (1995). Simulation: an emergente perspective. *lecture given at the conference on New Tecnologies in the Social Sciences*, (pág. p. 15). Bournemouth.
- Gjerdrum, J., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2001). A Combined Optimization an agent-based approach to supply chain modelling and performance assessment. *Production Planning and Control*, 12(1), 81-88.
- Gómez Jaramillo, A. P. (1999). *Elaboración de un modelo didáctico para la planificación y control de la producción bajo el esquema MRP II*. Medellin: UNIVERSIDAD EAFIT.

- Hayes-Roth, F., Erman, L. D., Lesser, V. R., & Reddy, D. R. (1980). The Hearsay II speech understanding system: integrating Knowledge to resolve uncertainty. En *ACM Computing Survey* (Vol. XII, págs. 213-253).
- Hewitt, C. (1977). Viewing Control Structures as Patterns of Message Passing. En *Artificial Intelligence* (Vol. VIII, págs. 323-364).
- Holland, J. H. (1975). *Adaption in natural and artificial systems*. Cambridge.
- Izquierdo, L. R., Galán, J. M., & Santos, J. (Julio-Diciembre de 2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en Agentes y mediante Dinámica de sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*(16), 85-112.
- Jennings, N., Sycara, K., & Wooldridge, M. (1998). Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. *A Roadmap of Agent Research and Development* , 1(1), 7-38.
- Karimi, R., Lucas, C., & Moshiri, B. (2007). Nee Multi Attributes Procurement action for Agent-Based Supply chain formation. En R. Karimi, C. Lucas, & B. Moshiri, *Int. J. of Computer Science and Network Security* (Vol. VII, págs. 255-261).
- Kjestad D. (1998). *Coordinated Supply Chain Scheduling*. Ph.D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian.
- Labarthe , O., Espinasse, B., Ferrarini, A., & Montreuil, B. (2007). A Methodological Approach for Agent-Based Simulation of Mass Customizing Supply Chains. *J. of decision Systems*, 15(2), 113-136.
- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A., & Montreuil, B. (2007). Toeard a methodological Framework for Agent-Based Modelling and Simualtion of Supply Chains in Mass Customization Context. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), 113-136.
- Lesser, V. R., & Corkill, D. G. (1983). The distributed Vehicle Monitoring Tested: A Tool for Investigating Distruibuited Problem Solving Networks. *AI Magazine*, 4(3), 12-33.

- López Paredes, A., Hernández Iglesias, C., Pajares Gutiérrez, J., & Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización. Técnicas Computacionales de Simulación de Sistemas Complejos. // Conferencia de Ingeniería de Organización. Vigo.*
- Makatsoric, C., Leach, N. P., Richards, H. D., Risticm., & Besant, C. B. (1996). Proc. Of the conf. On Integration In Manufacturing. En C. Makatsoric, *Addressing the Planning and control gaps in semiconductor Virtual Enterprise* (págs. 117-129).
- Márquez Crespo, A. (2010). *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*. New York: Springer-Verlag London Limited 2010.
- McGarvey, B., & Hannon, B. (2004). *Dynamic Modeling for Business Management An Introduction*. New York: Springer-Verlag New York, Inc.
- Min, H., & Zhoug, G. (2002). Supply Chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 231-249.
- Monteiro, T., Anciaux, D., Espinasse, B., & Ferrarini, A. (2008). The Interest of Agents for Supply Chain Simulation. En C. Thierry, & G. Bel, *Simulation for Supply Chain Management* (Vol. 13, págs. 171-182). Wiley-ISTE.
- Montreuil, B., Frayret, J. M., & D'Amours, S. (2000). A strategic framework for Networked Manufacturing. *Computers in Industry*, 42(2-3), 299-317.
- Moyaux, T. (2004). *Design, Simulation and Analysis of collaborative strategies in Multi-agent Systems: The Case of Supply chain Management* . PhD Tesis, Laval University.
- Muller, J. (1998). Architectures and application of intelligents agents: a survey. *Knowledge Engineering Review*, 13(4), 353-380.
- Parunak H., V. D., Savit, R., & Riolo, R. L. (1998). *Agent-Based Modeling vs. Equation Based-Modeling: A case study and User's Guide*. Center for Electronic Commerce Report.
- Parunak H., V. D., Savit, R., Riolo, R. L., & Clark, S. J. (1999). DASCh: Dynamic Analysis of Supply Chains. *Center for Electronic Commerce Final Report*.

- Rao, A., & Georgeff, M. (1991). Asymmetric Thesis and side-effect problems in linear time and branching time intention logics. *Proc. Of the 12th int. Joint Conf on Artificial Intelligence*.
- Richardson, G. P. (1991). *Feedback Thought in social Science and Systems Theory*. Philadelphia.
- Rivera, B. (04 de 11 de 2004). *Universia*. Recuperado el 01 de 10 de 2009, de http://www.universia.pr/portada/actualidad/noticia_actualidad.jsp?noticia=17683
- Rodríguez A., C. A., & Ramírez E., S. (2007). Modelo de cursos interactivos para ingeniería con apoyo de una plataforma bimodal. *Revista Universidad Eafit*, 34.
- Rodriguez, M., & Lina, G. (2009). *Juegos y ejercicios prácticos para las materias del área de Gestión de la Producción y Logística en Ingeniería de Producción*. . Medellín.
- Russell, R. S., & Taylor III, B. W. (2003). *Operation Management* (Fourth ed. ed.). NJ: Prentice Hall.
- Sadeh, N. M., Hildum, D., & Kjenstad, D. (2003). Agent-Based eSupply Chain Decision Support. *J. of Organizational Computing and Electric Commerce*, 13(3-4), 225-241.
- Saleh, M. (2000). The Hard Core of the System Dynamics Research. *Davidson, Pål I., David N. Ford and Ali N. Mashayekhi (Eds.):*, (pág. P. 13). Bergen.
- Sauter , J. A., & Parunak H., V. D. (1999). ANTS in the supply chain. *Proc. of the Workshop on Agent Based Decision Support System for Managing the Internet-Enabled Supply Chain*.
- shoham, Y. (1993). Agent Oriented Programming. *Artificial Intelligence*, 60(1), 52-92.
- Smith, R. G. (1980). The contract net protocol: high level communication and control in distributed problem solver. En *IEEE Transactions on Computers* (Vol. 29, págs. 1104-1113).

- Srinivasan, K., Sunder, K., & Mukhopadhyay, T. (1994). Impact of Electronic data interchange technology on JIT shipments. *Management Science*, 40(10), 1291-1304.
- Strader, T. J., Lin, F. R., & Shaw, M. (1999). The impact of information sharing on order fulfillment in divergent differentiation supply chain. *J. of Global Information Management*, 7(1), 16-25.
- Swaminathan, J. M., Smith, S. F., & Sadeh, N. M. (1998). Modeling Supply Chain Dynamics: A Multi-agent Approach. *decision sciences*, 29(3), 607-632.
- Teigen, R. (1997). *Information Flow in a supply chain Management System*. PhD Thesis, University of Toronto, Toronto.
- Telle, O. (2003). *Gestion de chaines logistiques nads le domaine aeronautique:Aide a la cooperation au sein d'une relation Donneur d'Ordres/Fournisseurs*. PhD Thesis, Ecole Nationale Superieure de l'Aeronautique et de l'Espace.
- Wooldridge, M., & Jennings, N. (1995). Intelligent agent: theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, X(2), 115-142.
- Yuan, Y., & Liang, T. P. (2002). *Using agent technology to support supply chain Management: Potentials and Challenges*. McMaster University.