

Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo

José L. Calderón (1,2) y Francisco C. Lario (2)

(1) Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. de Organización de Empresas,
Campus de Vera, s/n., 47022 Valencia-España (e-mail: jocalla@doctor.upv.es)

(2) Universidad Politécnica de Valencia, Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción
(CIGIP)., Campus de Vera, s/n., 47022 Valencia-España (e-mail: fclario@omp.upv.es)

Resumen

El presente trabajo es una revisión de la literatura sobre simulación de cadenas de suministro y resume los conceptos principales sobre simulación y analiza más de 70 artículos publicados entre los años 2000 y 2006. El objetivo es brindar una revisión crítica para quienes empiezan su investigación en esta área o están interesados en la simulación como herramienta para mejorar la cadena de suministro en los niveles estratégico, táctico y operativo. Selecciona 40 artículos en función de sus nuevos enfoques y aplicaciones, y los clasifica según ocho criterios: objetivos, tipo de análisis, etapas de la cadena de suministro abarcadas, procesos simulados, grado de detalle de cada eslabón, simulación del nivel estratégico, tipo de modelo de simulación, y simulación de modelos de evento discreto. El trabajo concluye determinando nueve áreas de desarrollo de los nuevos enfoques y aplicaciones, de las cuales los sistemas multi-agentes y las estrategias de colaboración y coordinación son los más empleados y estudiadas.

Palabras clave: simulación, cadenas de suministro, modelos de evento discreto, multi-agentes

Supply Chain Simulation: New Applications and Development Areas

Abstract

A literature review on supply chain simulation is presented. The paper summarizes the main concepts on simulation and analyzes more than 70 papers published between the years 2000 and 2006. The objective is to offer a state of the art for those who begin research in this area or are interested in the simulation as a tool to improve the supply chain in the strategic, tactical and operative levels. Fourty articles are selected considering the new approaches and applications, and classifies them according to eight criteria: objectives, analysis type, supply chain stages included, simulated processes, detail of each stage, simulation of the strategic level, type of simulation models, and simulation models of discrete events. The work finishes determining nine development areas of the new approaches and applications, of which the multi-agents systems and the strategies of collaboration and coordination are the most used and studied.

Keywords: simulation, supply chain, multi-agents, discrete event models

INTRODUCCIÓN

Para el presente trabajo se ha revisado la literatura sobre Simulación de Cadenas de Suministro (CS) con el objetivo de presentar una visión rápida de los Modelos de Simulación y ofrecer un Estado del Arte de las aportaciones más recientes sobre Simulación de CS.

En los siguientes párrafos de este apartado se presentan los conceptos básicos sobre los Modelos de Simulación.

Carson (2003) afirma que un Modelo de Simulación (MS) es un modelo descriptivo de un proceso o sistema, que usualmente incluye parámetros para representar diferentes configuraciones del sistema o proceso. Además, dice que el MS se puede usar para experimentar, evaluar y comparar muchos sistemas alternativos. Estas tres, afirma, son las razones claves para hacer simulación, y sus principales resultados son la predicción del rendimiento y la Identificación de los problemas del sistema.

Hay muchos tipos de modelos usados como base para la simulación. Primeramente podemos distinguir entre modelos Estáticos, que no varían con el tiempo, y modelos Dinámicos, que sí varían con el tiempo (Crosbie, 2000).

Los modelos Dinámicos se pueden dividir en Continuos y de Evento Discreto. Los modelos Continuos se basan usualmente en ecuaciones diferenciales con el tiempo como una variable independiente, y en ellos el estado del sistema cambia de forma continua de manera que puede ser diferente en cada instante de tiempo. Los modelos de Evento Discreto cambian sólo en momentos específicos, determinados por la ocurrencia de un evento (por ejemplo la llegada de una orden), entonces el modelo ejecuta el proceso que desencadena dicho evento y avanza el tiempo correspondiente; luego el estado del sistema no cambia hasta que ocurra el siguiente evento y cuando este sucede se avanza el reloj del sistema hasta ese instante (Crosbie, 2000).

Casi todos los Modelos de Evento Discreto (MED) son estocásticos, es decir, contienen algunos componentes modelados como distribuciones de probabilidad (por ejemplo el

tiempo entre llegadas de órdenes sucesivas o el tiempo de reparación de una avería). Esto introduce variación aleatoria al modelo y los resultados de la simulación resultan estocásticos, obligando a hacer análisis estadístico para validar sus conclusiones (Carson, 2003).

También se pueden dar modelos Combinados como modelos integrados que incorporan tanto variables discretas como continuas. Para modelar tal tipo de sistema, el modelo debe representar tanto los componentes discretos como los continuos, así como las interacciones que pueden ocurrir entre ellos. Lee et al. (2002) muestran una aplicación en la que la información acerca de las órdenes de los clientes, los flujos de información en cada etapa de la cadena de suministro, y los niveles de inventario en el distribuidor y en cada fábrica son considerados elementos continuos, y el transporte es considerado como un elemento discreto.

Terzi y Cavalieri (2004) han revisado más de 80 artículos (todos entre 1989 y 2002) de simulación en el contexto de Cadenas de Suministro. La mayoría de los programas de simulación para CS encontrados son modelos Dinámicos de Evento Discreto. Afirman que la simulación de tales modelos se realiza, generalmente, según dos enfoques estructurales: i) Simulación Local, que utiliza sólo un modelo de simulación, ejecutado sobre un solo ordenador como un único modelo que reproduce todos los nodos; y ii) Simulación Paralela o Distribuida (SPD), que pone en práctica más modelos (uno para cada nodo), ejecutada sobre más ordenadores y/o multiprocesadores, capaz de correr en el modo paralelo o distribuido en una sola simulación cooperativamente.

Terzi y Cavalieri (2004) indican que la ejecución práctica de la SPD necesita una estructura que permita modelar la información compartida y sincronizar las distintas simulaciones locales. En la literatura se distinguen dos estructuras de SPD diferentes: i) estructura Descentralizada, basada en la lógica de protocolo distribuido, en la cual todos los nodos están mutuamente interconectados. Los protocolos distribuidos trazan un mapa de los mensajes que cada nodo envía continuamente a otros nodos para brindar su información actualizada a la etapa de simulación apropiada; y ii) estructura Centralizada,

basada en la lógica de centralización, en la que un solo ordenador (administrador del proceso) es responsable de unir los nodos participantes. La lógica centralizada provee un software que es capaz de recibir mensajes estándar de cada uno de los nodos conectados, y, además, de distribuir las comunicaciones necesarias entre los nodos participantes.

Según Terzi y Cavalieri (2004), el enfoque de Simulación Local es, todavía, el enfoque más encontrado en la literatura. Es usado principalmente para el diseño de redes de CS, pero también para verificar modelos estratégicos y arquetipos de gestión. Los Procesos más simulados son los relacionados con la Distribución, el Transporte y la Planificación de Inventario. En síntesis, el enfoque de simulación local: 1) se usa dentro de varios sectores industriales y con empresas de diferente tamaño; y 2) se aplica generalmente a CS de un solo propietario, sobre todo porque las empresas no desean compartir su información y sus modelos de simulación con otras empresas de la CS.

La revisión de la literatura indica claramente que el enfoque de SPD no es aún el enfoque predominante. Las experiencias destacan de formas diferentes la atención creciente de la comunidad científica e industrial a la SPD de CS: 1) en el mundo de la investigación está en la fase de evaluación, sobre todo para resolver problemas de estabilidad de Tecnologías de Información (problemas de sincronización del tiempo en la simulación); y 2) se aplica principalmente a CS de multipropiedad, por su característica de solucionar cualquier problema de compartir información entre nodos (Terzi y Cavalieri, 2004).

Bandinelli et al. (2006) han realizado una revisión de las tecnologías disponibles y de los aspectos tecnológicos de la estructura de SPD, tales como los estándares de Comunicación Inter-Procesos y las infraestructuras de tiempo real. Ellos explican brevemente los siguientes estándares: HLA-RTI (High Level Architecture y Run-time Infrastructure), CORBA® (Common Object Request Broker Architecture), RMI (Java Remote Method Invocation), EJB (Enterprise JavaBeans), DEVS (Discrete Event Systems Specification), CORBA-DEVS, HLA-DEVS, GRID (General Runtime Infrastructure for Distributed Simulation), SIMJAVA® (aplicación

basada en RMI), JINI (aplicación basada en infraestructura EJB) y COM+® (de Microsoft). Comparan algunos de los más conocidos estándares de Comunicación Inter-Procesos en función de los siguientes objetivos generales: (i) lograr un mejor desempeño en el intercambio de información para SPD; y (ii) asegurar el nivel apropiado de confidencialidad de la información.

Bandinelli et al. (2006) también han distinguido cuatro formas de aplicar la estructura de SPD según diferentes niveles de negociación entre los miembros de la CS: (i) sin-negociación/simple-simulación; (ii) negociación-fuera-de-línea/simple-simulación; (iii) negociación-en-línea/simple-simulación; y (iv) negociación-en-línea/simulación-anidada. Afirman que su clasificación puede ser útil para distinguir funcionalidades y límites de cada aplicación específica.

Los sistemas de Multi-Agentes están siendo empleados en la SPD por su capacidad para permitir la interacción de diferentes empresas en la CS, cada una con su software y lenguaje específico, corriendo en paralelo, como una sola gran simulación sincronizada. Macal y North (2005) explican los conceptos básicos de la simulación y el modelado basado en agentes. Mencionan aplicaciones en distintos campos de investigación. Hacen referencia a los estándares de programas de agentes. Explican cómo modelar con Multi-Agentes y su relación con otras técnicas de simulación. Refieren otras fuentes de información sobre el empleo de agentes y distinguen las situaciones en las que el modelado basado en agentes ofrece ventajas respecto de otros enfoques de modelado.

En las siguientes secciones se presenta la Revisión de la Literatura, los Resultados y Discusión, y las Conclusiones. Se revisan los artículos que tratan sobre simulación de CS, se seleccionan los que aportan nuevos enfoques y/o aplicaciones de simulación en dos o más eslabones (etapas) de la CS, y se clasifican según ocho (8) criterios. En función de los artículos analizados se determina las áreas de desarrollo de los nuevos enfoques y aplicaciones.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se ha 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 complementar el estado del arte realizado por Terzi y Cavalieri (2004) y determinar las áreas de desarrollo de las nuevas aplicaciones y enfoques.

Se han revisado más de 70 artículos pero sólo se consideraron para este análisis los 40 artículos que aportaban nuevos enfoques y/o aplicaciones de simulación en dos o más eslabones de la CS.

Para clasificar los artículos se han empleado los siguientes criterios:

- i) Objetivos.
- ii) Tipo de Análisis.
- iii) Etapas de la CS abarcadas.
- iv) Procesos Simulados.
- v) Grado de detalle de cada eslabón (Alto, Medio, Bajo).
- vi) Simulación del Nivel Estratégico, Táctico y/u Operativo.
- vii) Tipo de Modelo de Simulación (Continuo o de Evento Discreto) y si emplea Multi-Agentes o no.
- viii) Simulación de MED: Local o SPD (Centralizada o Descentralizada).

En los cuatro primeros criterios se han determinado varias alternativas que se muestran en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1: Objetivos

1	Reducir costos o Maximizar beneficios
2	Mejorar confiabilidad
3	Minimizar inventarios
4	Reducir tiempo de entrega
5	Mejorar 2, 3 y 4
6	Maximizar utilización del equipo
7	Aumentar flexibilidad
8	Mejorar simulación (intercambio de información)
9	Reducir trabajo en proceso
10	Mejorar simulación (más detallada y menor tiempo)
11	Reutilización

En la Tabla 5 se presentan los artículos seleccionados en orden de antigüedad (por año) y alfabético (por autores). Cuando en la Tabla 5 figura "No lo dice" es porque en el artículo no se menciona y no se ha podido determinar ese criterio. Cuando aparece "No" es porque no corresponde, por ejemplo si el

modelo es Continuo entonces no puede ser clasificado como Local o SPD (centralizado o descentralizado).

Tabla 2: Tipo de Análisis

1	de sensibilidad o "what if analysis"
2	de intercambio o "tradeoffs analysis"
3	de optimización
4	de robusticidad, riesgo o incertidumbre
5	detallado de Producción
6	de escenarios
7	de rediseño de la CS
8	de Mejores Prácticas
9	de nuevas especificaciones para hacer el modelo de simulación
10	de compartir vs. centralizar información
11	de nivel de colaboración o de formas de coordinación

Tabla 3: Etapas de la CS abarcadas

1	Manufactura y Distribución (sólo almacenes)
2	Proveedores, Manufactura y Distribución
3	1 + Transporte
4	2 + Transporte
5	3 + Detallistas
6	4 + Detallistas
7	Proveedores y Manufactura (partes y ensamble)
8	7 + Transporte
9	Manufactura, Distribución y Detallistas (sin transporte)
10	Almacén Central y Minoristas (sólo reposición)
11	Muelles, Grúas, Transportes y Barcos
12	Mayorista, Centro de Distribución y Detallista

Tabla 4: Procesos Simulados

1	Producción (lotización y programación)
2	Previsión de la Demanda
3	Control de Inventarios
4	Llegada de órdenes o pedidos
5	Distribución (carga y rutas) y Transporte
6	Planificación de Ventas
7	Producción (sólo tiempos)
8	Presupuestos y Precios
9	Transporte (sólo tiempos)
10	Flujo de materiales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 40 artículos seleccionados, 3 no dicen qué modelo emplean para la simulación de la CS, 4 se basan en modelos Continuos, 32 en modelos de Evento Discreto, y 1 es un

modelo Combinado (continuo y de evento discreto) de tipo Local. De los 32 MED, 23 corresponden al enfoque de simulación Local y los otros 9 al enfoque de SPD (de los cuales 7 son de estructura Centralizada y 2 de estructura Descentralizada).

Tabla 5: Artículos y ponencias sobre Simulación de Cadenas de Suministro

	Artículos	Objetivos	Tipo de análisis	Etapas que abarca	Procesos Simulados
1	Joines et al. (2002)	5	3	10	2 y 3
2	Kilgore (2002)	8 y 11	9 y 10	2	No lo dice
3	Yi et al. (2002)	2, 4 y 7	6, 7 y 11	11	10
4	Iannone et al. (2003)	8	10	6	4, 7 y 9
5	Kaihara (2003)	1	2 y 7	7	3 y 8
6	Kleijnen (2003)	1 y 2	1, 4 y 7	8	1, 3 y 4
7	Landeghem y Aghezzaf (2003)	1	8	4	3 y 7
8	Marthaler et al. (2003)	8 y 10	1 y 6	7	10
9	Pathak et al. (2003)	1, 2 y 4	7	2	2, 4 y 10
10	April et al. (2004)	5	3	2	1 y 4
11	Byrne y Heavey (2004)	5, 6 y 9	1 y 5	7	1, 3 y 4
12	Ding et al. (2004)	5	3 y 7	4	4, 7 y 9
13	Hatono et al. (2004)	5	1 y 6	9	3, 4, 6, 7 y 8
14	Jain (2004)	5	2	3	2, 3, 4 y 9
15	Moyaux et al. (2004)	1 y 3	6 y 11	9	3 y 4
16	Rabelo et al. (2004)	5 y 9	1, 4	7	3, 7
17	Rathnam y Paredis (2004)	11	7 y 9	6	No lo dice
18	Reiner y Trcka (2004)	1, 4 y 9	1 y 4	9	1, 3 y 4
19	Suwanruji y Enns (2004)	5	2 y 6	2	2, 3 y 7
20	Umeda y Lee (2004)	10	6 y 9	6	1, 2, 3, 4 y 9
21	Barnes, Kalaitzandonakes y Crowe (2005)	1	11	8	1, 4 y 5
22	Chan y Chan (2005)	1, 3, 4 y 6	6 y 7	4	1, 3, 4 y 9
23	Jain y Leong (2005)	4 y 7	4	7	1, 3, 4 y 9
24	Rabelo et al. (2005)	1, 2 y 4	7	9	3, 4, 6 y 7
25	Sarjoughian et al. (2005)	5 y 6	1	8	1, 3, 4 y 9
26	Ulueru y Cobzaru (2005)	1 y 6	7 y 11	2	4 y 7
27	Vlachos et al. (2005)	1	1 y 6	1	3 y 10
28	Vorst, Tromp y Zee (2005)	10 y 11	1, 6 y 7	6	3, 4, 7, 9 y 10
29	Chan y Chan (2006)	1, 4 y 7	11	10	3, 4 y 7
30	Hung et al. (2006)	1 y 5	1, 5 y 9	6	1, 3 y 4
31	Lalwani et al. (2006)	1, 3 y 4	1, 2 y 4	10	2 y 5
32	Le Blanc et al. (2006)	1	3	11	5
33	Lim et al. (2006)	1 y 5	3 y 6	6	3, 4 y 7
34	Lin y Tsao (2006)	2	6 y 10	10	3 y 4
35	Liu (2006)	1	6 y 11	10	3, 4 y 8
36	Mele et al. (2006)	1	3	9	1, 2, 3, 4 y 5
37	Nair y Closs (2006)	1 y 3	6 y 10	12	3, 4, 5, 8 y 9
38	Umeda y Zhang (2006)	3, 4 y 9	5 y 6	4	1, 2, 3, 4 y 5
39	Villegas y Smithz (2006)	1, 3, 6 y 9	2 y 3	9	2, 3, 4 y 7
40	Zhang et al. (2006)	5	2, 6 y 10	12	2, 3, 4 y 9

Tabla 5: Artículos y ponencias sobre Simulación de Cadenas de Suministro (continuación)

	Artículos	Grado de detalle de cada eslabón: A, M o B	Simulación del Nivel Estratégico, Táctico y/u Operativo	Tipo de Modelo de Simulación y si emplea Multi-Agentes	Simulación Local o SPD (Centralizada o Descentralizada)
1	Joines et al. (2002)	A	O	No lo dice	No
2	Kilgore (2002)	No lo dice	T	MED	Descentraliz.
3	Yi et al. (2002)	M	E y O	MED-MA	Descentraliz.
4	Iannone et al. (2003)	A	O	MED	Centralizada
5	Kaihara (2003)	B	T	MED-MA	Local
6	Kleijnen (2003)	A	E	MED	Centralizada
7	Landeghem y Aghezzaf (2003)	A	E	MED	Local
8	Marthaler et al. (2003)	A	T	Continuo	No
9	Pathak et al. (2003)	B	E	MED-MA	Local
10	April et al. (2004)	A	O	MED	Local
11	Byrne y Heavey (2004)	A	T y O	MED	Centralizada
12	Ding et al. (2004)	B	E y T	MED	Centralizada
13	Hatono et al. (2004)	M	T	MED-MA	Local
14	Jain (2004)	A	T y O	MED	Local
15	Moyaux et al. (2004)	B	O	MED-MA	Local
16	Rabelo et al. (2004)	M	T	Continuo	No
17	Rathnam y Paredis (2004)	No lo dice	E-T	MED-MA	Centralizada
18	Reiner y Trcka (2004)	A	O	MED	Local
19	Suwanruji y Enns (2004)	B	T	MED	Local
20	Umeda y Lee (2004)	A	T-O	MED	Local
21	Barnes, Kalaitzandonakes y Crowe (2005)	A	O	MED	Local
22	Chan y Chan (2005)	A	E	MED	Local
23	Jain y Leong (2005)	A	T	MED	Local
24	Rabelo et al. (2005)	B	E	Combinado	Local
25	Sarjoughian et al. (2005)	A	O	MED	Centralizada
26	Ulieru y Cobzaru (2005)	B	T	MED-MA	Local
27	Vlachos et al. (2005)	B	E y T	Continuo	No
28	Vorst, Tromp y Zee (2005)	M	E	MED-MA	Local
29	Chan y Chan (2006)	B	O	MED-MA	Centralizada
30	Hung et al. (2006)	A	O	MED	Local
31	Lalwani et al. (2006)	M	E y T	No lo dice	No
32	Le Blanc et al. (2006)	A	E y T	No lo dice	No
33	Lim et al. (2006)	M	T	MED	Local
34	Lin y Tsao (2006)	No lo dice	O	MED	Local
35	Liu (2006)	B	T	Continuo	No
36	Mele et al. (2006)	A	T	MED-MA	Local
37	Nair y Closs (2006)	A	O	MED	Local
38	Umeda y Zhang (2006)	A	T y O	MED	Local
39	Villegas y Smithz (2006)	B	T	MED	Local
40	Zhang et al. (2006)	A	O	MED	Local

La tendencia más desarrollada y aplicada en estos últimos cuatro años es la de emplear modelos de simulación con Multi-Agentes, dada la ventaja de éstos para permitir que cada agente (es decir cada empresa participante en la CS) tome decisiones independientemente. En la Tabla 5 se presentan diez aportaciones recientes: Yi et al. (2002), Kaihara (2003), Pathak et al. (2003), Hatono et al. (2004), Moyaux et al. (2004), Rathnam y Paredis (2004), Ulieru y Cobzaru (2005), Vorst, Tromp y Zee (2005), Chan y Chan (2006) y Mele et al. (2006).

Se han encontrado diez nuevas aportaciones en el campo de las Estrategias de Colaboración (compartiendo información e incluso planificación) y de Coordinación (la mayoría mediante contratos), a saber: Yi et al. (2002), Pathak et al. (2003), Moyaux et al. (2004), Ulieru y Cobzaru (2005) y Chan y Chan (2006) ya mencionados con Multi-Agentes, y Barnes, Kalaitzandonakes y Crowe (2005), Lin y Tsao (2006), Liu (2006), Nair y Closs (2006), y Zhang et al. (2006).

Nueve trabajos recientes hacen énfasis en mejorar el Análisis de Sensibilidad y la Robustez de la CS. Combinando una serie de métodos y técnicas como la Bifurcación Secuencial, la Dinámica de Sistemas, el Análisis de Redes Neuronales, el Análisis de Valor Propio, la Teoría de Razonamiento Difuso Adaptable, logran prevenir cambios y determinar políticas más robustas. Estos trabajos son de: Kleijnen (2003), Hatono et al. (2004) (ya mencionado en simulación con Multi-Agentes), Rabelo et al. (2004), Reiner y Trcka (2004), Barnes, Kalaitzandonakes y Crowe (2005) (ya mencionado en estrategias de colaboración y coordinación), Jain y Leong (2005), Vorst, Tromp y Zee (2005) (ya mencionado con Multi-Agentes), Vlachos et al. (2005) y Lalwani et al. (2006).

También se observa un fuerte énfasis en integrar la Optimización con la Simulación de CS empleando técnicas de Programación Matemática, Algoritmos Genéticos Multi-Objetivo, Metaheurísticas (Tabu Search y Scatter Search) y Redes Neuronales. Los trabajos de Joines et al. (2002), April et al. (2004), Ding et al. (2004), Le Blanc et al. (2006), Lim et al. (2006) y Mele et al. (2006) (ya mencionado con Multi-Agentes), son nuevas aplicaciones en esta área.

El Análisis de Intercambio es otra área de interés desarrollada por cuatro recientes trabajos que buscan, mediante simulación, encontrar el equilibrio entre el Nivel de Inventarios, el Servicio al Cliente y el Tiempo de Atención entre otros factores. En la Tabla 5 podemos encontrar los trabajos de: Kaihara (2003) (ya mencionado con Multi-Agentes), Jain (2004), Suwanruji y Enns (2004), y Villegas y Smithz (2006).

El Diseño de Estándares y dar nuevas especificaciones para hacer el modelo de simulación de CS, son objetivos de cuatro últimos estudios. Kilgore (2002) discute aspectos de los nuevos estándares de software que aumentarán la reusabilidad. El estudio de Rathnam y Paredis, 2004 (ya mencionado con Multi-Agentes) pretende mejorar la ontología para modelar federados y facilitar su reutilización en otras federaciones. Umeda y Lee (2004) proponen unas especificaciones de diseño para simular cualquier MED de fabricación de una CS, y Hung et al. (2006) presentan un modelo de nodos capaces de capturar las características de todos los participantes de la CS.

Hacer que la simulación abarque en mayor detalle los elementos de Producción es el área desarrollada por cuatro proyectos presentados entre 2004 y 2006, dado que consideran que tanto la Manufactura como la Logística tienen vital importancia en la CS. Nos referimos a los trabajos de: Byrne y Heavey (2004), Sarjoughian et al. (2005), el ya mencionado Hung et al. (2006), y Umeda y Zhang (2006).

Se ha encontrado otro grupo de trabajos sobre rediseño estratégico de la CS. Chan y Chan (2005) evalúan cinco modelos de configuración de la CS; Vorst, Tromp y Zee (2005) (ya mencionados con Multi-Agentes) presentan un nuevo software que integra bloques constructivos de proceso reusables y modelos de pérdida de calidad, especialmente útil para rediseño de CS de alimentos; y Rabelo et al. (2005) analizan las decisiones de CS globales usando modelos combinados de evento discreto (MED) y variables continuas (Dinámica de Sistemas) para reducir el impacto de las variaciones estocásticas y el tratamiento estadístico. Landeghem y Aghezzaf (2003), presentan un modelo para evaluar las Mejores Prácticas en diversos escenarios de la CS.

Por último, diferentes modelos, arquitecturas y tecnologías están contribuyendo a incrementar la velocidad de simulación y mejorar el intercambio de datos entre los miembros de la CS. En la Tabla 5 se presentan tres aportaciones de: Kilgore (2002) (ya mencionado en diseño de estándares), Iannone et al. (2003) y Marthaler et al. (2003).

CONCLUSIONES

A través del análisis de 40 artículos seleccionados entre los años 2002 y 2006, se han determinado nueve (9) áreas de desarrollo de las aplicaciones de Simulación de la CS. Estas áreas (en orden de mayor a menor número de trabajos) son:

1. Simulación con Multi-Agentes.
2. Estrategias de colaboración y coordinación.
3. Análisis de Sensibilidad y Robustez.
4. Optimización y Simulación.
5. Análisis de Intercambio.
6. Diseño de Estándares.
7. Simulación que abarca en mayor detalle los elementos de Producción.
8. Rediseño estratégico de la CS y Análisis de las Mejores Prácticas.
9. Mejora de la velocidad de simulación e intercambio de datos.

En función de los resultados se puede afirmar que los modelos de Evento Discreto son los más empleados para la simulación de CS y los programas de simulación desarrollados corren, en su mayoría, en un solo ordenador como un conjunto monolítico (enfoque de simulación Local).

REFERENCIAS

April, J. y otros tres autores, *New advances and applications for marrying simulation and optimization*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 1, 76-82, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Bandinelli, R. y otros tres autores, *Using simulation for supply chain analysis: reviewing and proposing distributed simulation frameworks*, Production Planning & Control, 17(2), 167–175 (2006).

Barnes, J.N., N.G. Kalaitzandonakes y T.J. Crowe, *Using Simulation for Economic Policy Analysis in the Global Agricultural Supply*

Chain, Actas de 2005 Winter Simulation Conference, 2034-2041, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Byrne, P.J. y C. Heavey, *Simulation, a Framework for Analysing SME Supply Chains*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 1, 112-120, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Carson, J.S.II, *Introduction to modelling and simulation*, Actas de 2003 Winter Simulation Conference, 1, 7-13, New Orleans, USA, 7 al 10 de Diciembre (2003).

Chan, F.T.S. y H.K. Chan, *Simulation modeling for comparative evaluation of supply chain management strategies*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25, 998–1006 (2005).

Chan, H.K. y F.T.S. Chan, *Early order completion contract approach to minimize the impact of demand uncertainty on supply chains*, Industrial Informatics, IEEE Transactions, 2(1), 48-58 (2006).

Crosbie, R., *Modeling and Simulation per la Gestione della Logistica Distribuita* (en línea), 2000. <http://st.itim.unige.it/ssi11x00/crosbie.htm>. Acceso: 5 de Abril (2005).

Ding, H. y otros cuatro autores, *“ONE” a new tool for Supply Chain Network optimization and simulation*, Actas de 2004 Winter Simulation, 2, 343- 350, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Hatono, I. y otros tres autores, *A Decisión Support System for Designing Business Strategies*, Actas de IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1475-1480, The Hague, The Netherlands, 10 al 13 de Octubre (2004).

Hung, W.Y., N.J. Samsatli y N. Shah, *Object-Oriented Dynamic supply-chain modelling incorporated with production scheduling*, European Journal of Operational Research 169(3), 1064–1076 (2006).

Iannone, R., S. Miranda y S. Riemma, *Supply Chain distributed simulation: an efficient architecture for multi-model synchronization*, Actas de International Conference on Industrial Engineering and Production

Management, 1, 583-594, Porto, Portugal, 26 al 28 de Mayo (2003).

Jain, S., *Supply Chain Management Tradeoffs Analysis*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 2, 297-303, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Jain, S. y S. Leong, *Stress Testing a Supply Chain using Simulation*, Actas de 2005 Winter Simulation Conference, 1650-1657, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Joines, J.A. y otros cuatro autores, *Supply Chain Multi-Objective Simulation Optimization*, Actas de 2002 Winter Simulation Conference, 2, 1306-1314, San Diego, USA, 8 al 11 de Diciembre (2002).

Kaihara, T., *Multi-agent based supply chain modelling with dynamic environment*, Int. J. of Production Economics, 85, 263-269 (2003).

Kilgore, R.A., *Simulation Web Services With .Net Technologies*, Actas de 2002 Winter Simulation Conference, 1, 841-846, San Diego, USA, 8 al 11 de Diciembre (2002).

Kleijnen J.P.C., *Supply chain simulation: a survey* (en línea), 2003. <http://greywww.kub.nl:2080/greyfiles/center/2003/doc/103.pdf> Acceso: 26 de Enero (2005)

Lalwani, C.S., S.M., Disney y M.M. Naim, *On assessing the sensitivity to uncertainty in distribution network design*, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 36(1), 5-21 (2006).

Landeghem, H. Van y El-H. Aghezzaf, *Analyzing the cost effect of supply chain best practices using a causal model*, Actas de Int. Conference on Industrial Engineering and Production Management, 1, 563-582, Porto, Portugal, 26 al 28 de Mayo (2003).

Le Blanc, I. y otros tres autores, *Vehicle routing concepts in the closed-loop container network of ARN - A case study*, OR Spektrum, 28(1), 53-71 (2006).

Lee, Y.H., M.K. Cho y Y.B. Kim, *A discrete-continuous combined modeling approach for supply chain simulation*, Simulation, 78(5), 321-329 (2002).

Lim, S.J. y otros tres autores, *A simulation approach for production-distribution planning with consideration given to replenishment policies*, Int. J. of Advanced Manufacturing Technology, 27(5-6), 593 - 703 (2006).

Lin, Z. y D.-B. Tsao, *On the evaluation of downstream information sharing*, Journal of Japan Industrial Management Association 56(6), 413-420 (2006), También en línea: <http://www.scopus.com/scopus/search/form.uri?onlyAbstract=true> Acceso: 16 de Junio (2006).

Liu, B. y otros tres autores, *Supply-Chain Coordination With Combined Contract for a Short-Life-Cycle Product*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems And Humans, 36(1), 53-61 (2006).

Macal, C.M. y M.J. North, *Tutorial on agent-based modeling and simulation*, Actas de 2005 Winter Simulation Conference, 1, 2-15, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Marthaler, D., D. Armbruster y C. Ringhofer, *A Mesoscopic Approach to the Simulation of Semiconductor Supply Chains*, Simulation, 79(3), 157-162 (2003).

Mele, F.D. y otros tres autores, *A simulation-based optimization framework for parameter optimization of supply-chain networks*, Industrial and Engineering Chemistry Research, 45(9), 3133-3148 (2006).

Moyaux, T., B. Chaib-draa y S. D'Amours, *Multi-Agent Simulation of Collaborative Strategies in a Supply Chain* (en línea), 2004. http://www.aamas2004.org/proceedings/009_moyauxt_strategies.pdf. Acceso: Abril (2005).

Nair, A. y D.J. Closs, *An examination of the impact of coordinating supply chain policies and price markdowns on short lifecycle product retail performance*, International Journal of Production Economics, 102(2), 379-392 (2006). También en línea: <http://www.scopus.com/scopus/search/form.uri?onlyAbstract=true> Acceso: Junio (2006).

Pathak, S.D., D.M. Dilts y G. Biswas, *A Multi-Paradigm Simulator for Simulating Complex Adaptive Supply Chain Networks*, Actas de 2003 Winter Simulation Conference, 1, 808-816, New Orleans, USA, 7 al 10 de Diciembre (2003).

Rabelo, L., M. Helal y Ch. Lertpattarapong, *Analysis of Supply Chains Using System Dynamics, Neural Nets, and Eigenvalues*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 2, 1136-1144, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Rabelo, L. y otros tres autores, *Supporting Simulation-Based Decision Making with the use of AHP Analysis*, Actas de 2005 Winter Simulation Conference, 2042-2051, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Rathnam, T. y Ch.J.J. Paredis, *Developing Federation Object Models Using Ontologies*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 2, 1062-1070, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Reiner, G. y M. Trcka, *Customized SC design: problems and alternatives in the food industry. A simulation based analysis*, Int. J. of Production Economics, 89, 217-229 (2004).

Sarjoughian, H.S. y otros seis autores, *Hybrid Discrete Event Simulation with Model Predictive Control for Semiconductor Supply-Chain Manufacturing*, Actas de 2005 Winter Simulation Conference 256-266, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Suwanruji, P. y S.T. Enns, *Evaluating the Performance of Supply Chain Simulations with Tradeoffs Between Multiple Objectives*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, Vol. 2, 338-342, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Terzi, S. y S. Cavalieri, *Simulation in the supply chain context: a survey*, Computers in Industry, 53, 3-16 (2004).

Ulieru, M. y M. Cobzaru, *Building Holonic Supply Chain Management Systems: An e-Logistics Application for the Telephone Manufacturing Industry*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1(1), 18-30 (2005).

Umeda, S. y Y.T. Lee, *Design Specifications of a Generic Supply Chain Simulator*, Actas de 2004 Winter Simulation Conference, 1, 103-111, Washington DC, USA, 5 al 8 de Diciembre (2004).

Umeda, S. y F. Zhang, *Supply chain simulation: generic models and application examples*, Production Planning & Control, 17(2), 155-166 (2006).

Villegas, F. A. y N. R. Smithz, *Supply chain dynamics: analysis of inventory vs. order oscillations trade-off*, Int. J. of Production Research, 44(6), 1037-1054 (2006).

Vlachos, D., P. Georgiadis y E. Iakovou, *A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains*, Computers & Operations Research, Article in Press, Corrected Proof, (en línea) 2005. <http://www.sciencedirect.com/> Acceso: 26 de Junio (2006).

Vorst, J.G.A.J. van der, S. Tromp y D-J van der Zee, *A Simulation Environment for the Redesign of Food Supply Chain Networks: Modeling Quality Controlled Logistics*, Actas de 2005 Winter Simulation Conference 1658-1667, Orlando, USA, 4 al 7 Diciembre (2005).

Yi, D.W., S.H. Kim y N.H. Kim, *Combined Modeling with Multi-Agent Systems and Simulation: It's Application to Harbor Supply Chain Management*, Actas de 35th Hawaii International Conference on System Sciences, 3, 1615-1624. Big Island, Hawaii, 7 al 10 de Enero (2002).

Zhang, C. y otros tres autores, *Sharing shipment quantity information in the supply chain*, Omega 34 (5), 427-438 (2006). También en línea: <http://www.scopus.com/scopus/search/form.url>. Acceso: 12 de Junio (2006).