



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“SISTEMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO BASADO
EN LA INTEGRACIÓN DEL ENFOQUE MULTI-AGENTE
Y EL MODELO SCOR PARA LA ADMINISTRACIÓN
DE LA CADENA DE SUMINISTRO”.

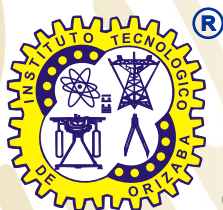
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA

PRESENTA:

M.I.I. María del Rosario Pérez Salazar

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

DICIEMBRE 2019



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA: 05/12/2019
DEPENDENCIA: POSGRADO
ASUNTO: Autorización de Impresión
OPCIÓN: I

C. MARIA DEL ROSARIO PEREZ SALAZAR
CANDIDATO A GRADO DE DOCTOR EN:
CIENCIAS DE LA INGENIERIA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"SISTEMA DE GESTION DEL CONOCIMIENTO BASADO EN LA INTEGRACION DEL ENFOQUE MULTI-AGENTE Y EL MODELO SCOR PARA LA ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E


MARIO LEONCIO ARRIJOJA RODRIGUEZ
JEFE DE LA DIV. DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx





EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA : 15/11/2019

ASUNTO: Revisión de Trabajo Escrito

C. MARIO LEONCIO ARRIJOJA RODRIGUEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION.
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C. :

MARIA DEL ROSARIO PEREZ SALAZAR

la cual lleva el título de:

"SISTEMA DE GESTION DEL CONOCIMIENTO BASADO EN LA INTEGRACION DEL ENFOQUE MULTI-AGENTE Y EL MODELO SCOR PARA LA ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO".

Y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E

PRESIDENTE	:	DR.	ALBERTO ALFONSO AGUILAR LASSERRE
SECRETARIO	:	DR.	RUBEN POSADA GOMEZ
PRIMER VOCAL	:	DR.	ULISES JUAREZ MARTINEZ
SEGUNDO VOCAL	:	DR.	ALEJANDRO ALVARADO LASSMAN
TERCER VOCAL	:	DR.	EDUARDO ROLDAN REYES
VOCAL SUP.	:	DR.	ALBINO MARTINEZ SIBAJA

[Handwritten signature]

FIRMA

[Handwritten signature]

FIRMA

[Handwritten signature]

FIRMA

[Handwritten signature]

FIRMA

[Handwritten signature]

FIRMA

[Handwritten signature]

FIRMA

EGRESADO(A) DEL DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA

OPCION: I Tesis



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx



Agradecimientos

A mis maestros

Por sus invaluable enseñanzas y consejos, en especial al Dr. Alberto A. Aguilar Lasserre, agradezco su dirección, amistad y confianza

A mis amigos de Orizaba

José Carlos, Missael, Isaura, por lo que me han enseñado y su amistad

Resumen

La transición de un enfoque intensivo de procesamiento de datos a procesos de negocios basados en el conocimiento ha hecho crítico el estudio del flujo de conocimiento entre los actores de la cadena de suministro; resaltando el foco en la gestión del conocimiento. Fundamentalmente, el objetivo de la gestión del es el manejo sistemático del conocimiento y del conocimiento potencial con un enfoque en la creación de valor a partir de los recursos intangibles tanto dentro como fuera de una organización. Los sistemas de gestión de conocimiento basados agentes inteligentes, una técnica de inteligencia artificial, implican que el sistema real de interés se modela e implementa en software de simulación utilizando principios de modelado y simulación basados en agentes; estos principios significan que el sistema real se modela como un conjunto de agentes que interactúan en un entorno definido y se presume que los agentes actúan en lo que perciben como sus propios intereses. El objetivo del trabajo de tesis es desarrollar un sistema de gestión de conocimiento basado en el enfoque de modelado de agentes para la administración de la cadena de suministro.

Dos cadenas de suministro caso de estudio son consideradas en esta investigación, la cadena de suministro agroalimentaria y la cadena de suministro humanitaria.

En referencia a la cadena de suministro agroalimentaria el objetivo es contribuir al estado de la investigación sobre la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación dentro del contexto de la agroindustria. Con este fin, se presenta un sistema de gestión del conocimiento basado en un modelo multi-agente utilizando la combinación de modelado y simulación basada en agentes y simulación de eventos discretos. Los datos de entrada en la cadena de suministro agroalimentaria se toman de una cadena de suministro de café verde. En este contexto, los agentes de decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para lograr i) la decisión con respecto a la estimación del rendimiento del café cereza obtenido en la plantación de café, y la decisión de verificación de la muestra de café pergamino, utilizando un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces, ii) la decisión de establecimiento del plan de producción, utilizando un enfoque de reglas de toma de decisiones basado en la integración de un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces y la representación basada en ecuaciones por medio de un modelo de programación entera mixta con el objetivo de maximizar el nivel de servicio al cliente; y iii) la decisión de actualización del plan de producción utilizando ecuaciones matemáticas una vez que el nivel de servicio al cliente cae por debajo del nivel esperado. Se consideraron tres escenarios de patrones de demanda para realizar los experimentos: creciente, unimodal y decreciente. El sistema de gestión del conocimiento basado en un modelo multi-agente puede manejar la demora en la llegada de materias primas mientras considera escenarios de planificación que

reflejan el contexto de la producción de café verde, escenarios donde la demanda está sesgada hacia el final del horizonte de planificación, donde la demanda es sesgada hacia el comienzo de la planificación, y donde la demanda alcanza su punto máximo en el medio del horizonte de planificación y cae por debajo de la capacidad disponible en los primeros y últimos días del horizonte.

Respecto a la cadena de suministro humanitaria el objetivo es contribuir al estado de la investigación sobre la necesidad urgente de herramientas analíticas que capturen la complejidad de la logística humanitaria y permitan a los tomadores de decisiones determinar el mejor curso de acción en las situaciones de desastre en relación a modelos de enrutamiento que incorporen costos de privación; modelos de asignación de inventario que incorporen costos de privación; logística inversa; pre posicionamiento de suministros; planeación de puntos de distribución; y asignación dinámica de recursos para gestionar la convergencia de materiales. El sistema de gestión de conocimiento se centra en la selección de la ubicación de puntos de abastecimiento en zonas afectadas por un sismo con el objetivo de agilizar y optimizar los esfuerzos de respuesta al desastre: maximizando el beneficio a los damnificados y reduciendo la distancia que implica la distribución de víveres y materiales, y proponiendo los niveles de inventario deseables en los centros de distribución; de manera tal que se provean soluciones de forma rápida y basadas en datos. Los agentes de decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para i) la evaluación de campo, ii) coordinación y ubicación de instalaciones, y iii) gestión de almacenamiento e inventario. Los datos de entrada en la cadena de suministro humanitaria se tomaron del caso del terremoto en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017. La formulación matemática para el problema de ubicación de instalaciones consta de dos fases, en la primera se genera el segundo eslabón de la cadena de suministro humanitaria y en la segunda se genera el primer eslabón. La primera fase consta de dos funciones objetivo, una que minimiza la sumatoria de la distancia desde cada punto de demanda hasta el punto de distribución dentro de cada clúster, la segunda función objetivo maximiza la cobertura de la demanda, tomando en cuenta la distancia máxima que una persona está dispuesta a caminar desde el punto de demanda hasta el punto de distribución que sirve a ese clúster; es en esta segunda función objetivo en la que se toma en cuenta la zona de influencia del punto de distribución, de manera tal que si un punto de demanda queda fuera de esta zona de influencia, esa demanda no será cubierta. La segunda fase consta de tres funciones objetivo: la primera minimiza la sumatoria de la distancia desde el punto de distribución en cada clúster hasta el almacén general, la segunda maximiza la utilidad generada por los puntos de distribución y la tercer función objetivo minimiza el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo que toma transportar los víveres del almacén general a los puntos de distribución.

Abstract

The transition from an intensive approach to a data processing to knowledge-based business processes has made it critical to study the flow of knowledge among the actors in the supply chain; highlighting the focus on knowledge management. Fundamentally, the objective of management is the systematic management of knowledge and potential knowledge with a focus on creating value from intangible resources both inside and outside an organization. Intelligent agent-based knowledge management systems, an artificial intelligence technique, imply that the real system of interest is modeled and implemented in simulation software using agent-based modeling and simulation principles; These principles mean that the real system is modeled as a set of agents that interact in a defined environment and it is presumed that the agents act on what they perceive as their own interests. The objective of the thesis work is to develop a knowledge management system based on the agent modeling approach for the supply chain management.

Two case study supply chains are considered in this investigation, the agri-food supply chain and the humanitarian supply chain.

In reference to the agri-food supply chain, the objective is to contribute to the state of research on the need for logistics systems for planning and programming/reprogramming within the context of agribusiness. To this end, a knowledge management system based on a multi-agent model is presented using the combination of agent-based modeling and simulation and discrete event simulation. The input data in the agri-food supply chain is taken from a green coffee supply chain. In this context, the decision-makers have the purpose of obtaining useful knowledge to achieve i) the decision regarding the estimation of the yield of the cherry coffee obtained in the coffee plantation, and the decision to verify the parchment coffee sample, using a fuzzy logic model that involves an inference engine with Si-Then type rules, ii) the decision to establish the production plan, using a decision-making rules approach based on the integration of a fuzzy logic model which involves an inference engine with Si-Then type rules and representation based on equations through a mixed-integer programming model with the objective of maximizing the level of customer service; and iii) the decision to update the production plan using mathematical equations once the level of customer service falls below the expected level. Three scenarios of demand patterns were considered to perform the experiments: increasing, unimodal and decreasing. The knowledge management system based on a multi-agent model can handle the delay in the arrival of raw materials while considering planning scenarios that reflect the context of green coffee production, scenarios where demand is biased towards the end of the horizon of planning, where demand is biased towards the beginning of planning, and where demand reaches its peak in the middle of the planning horizon and falls below the available capacity in the first and last days of the horizon.

With regard to the humanitarian supply chain, the objective is to contribute to the state of research on the urgent need for analytical tools that capture the complexity of humanitarian logistics and allow decision-makers to determine the best course of action in disaster situations in relation to routing models that incorporate deprivation costs; inventory allocation models that incorporate deprivation costs; reverse logistics; pre-positioning of supplies; distribution point planning; and dynamic allocation of resources to manage the convergence of materials. The knowledge management system focuses on the selection of the location of supply points in areas affected by an earthquake with the aim of streamlining and optimizing disaster response efforts: maximizing the benefit to the victims and reducing the distance involved the distribution of food and materials, and proposing desirable inventory levels in distribution centers; in such a way that solutions are provided quickly and based on data. The decision-makers are intended to obtain useful knowledge for i) field evaluation, ii) coordination and location of facilities, and iii) storage and inventory management. The input data in the humanitarian supply chain were taken from the case of the earthquake in Mexico City on September 19, 2017. The mathematical formulation for the problem of the location of facilities consists of two phases, in the first one, the second echelon is generated in the humanitarian supply chain and in the second the first echelon is generated.

The first phase consists of two objective functions, one that minimizes the sum of the distance from each demand point to the distribution point within each cluster; the second objective function maximizes the demand coverage, taking into account the maximum distance that a person is willing to walk from the demand point to the distribution point that serves that cluster. In the second objective function, the area of influence of the distribution point is taken into account so that if a demand point falls outside this area of influence, that demand will not be met. The second phase consists of three objective functions: the first minimizes the sum of the distance from the distribution point in each cluster to the general store, the second maximizes the utility generated by the distribution points and the third objective function minimizes the answer time, the time it takes to transport food from the general store to the distribution points

Índice general

Introducción	14
Capítulo 1. Generalidades	16
1.....	16
1.1 Introducción	16
1.2 Problema de investigación de la CS agroalimentaria.....	18
1.3 Problema de investigación de la CS humanitaria.....	19
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivo específico.....	20
1.5 Hipótesis	21
1.6 Justificación	21
1.7 Conclusión	22
Capítulo 2. Marco teórico.....	23
2.....	23
2.1 Generalidades de la administración de la CS.....	23
2.1.1 La administración de la CS	23
2.1.2 Modelo de referencia Supply Chain Operations Reference	24
2.1.3 Enfoques de modelado de la CS.....	26
2.2 Dimensiones de la gestión del conocimiento en la CS	29
2.2.1 Enfoque de proceso de negocio en la CS	31
2.2.2 Enfoque de procesos de GC en la CS.....	32
2.2.3 Enfoque de facilitadores de la GC en la CS	33
2.3 La administración de la CS agroindustrial.....	34
2.4 La administración de la CS humanitaria	36
2.5 Inteligencia artificial como herramienta en la toma de decisiones	39
2.5.1 Lógica difusa.....	40
2.5.2 Agentes y sistemas multi-agente.....	41
2.5.2.1 Modelo del agente actor.....	41
2.5.2.2 Características de los agentes inteligentes	42
2.5.2.3 Sistemas multi-agente en la CS	44
2.6 Conclusión	46
Capítulo 3. Estado del arte	47
3.....	47
3.1 El papel de la GC en la administración de la CS	47

3.1.1	Descripción de la metodología para la revisión de literatura sistemática	47
3.1.2	Metodología de investigación empleadas por los autores	48
3.1.3	Principales áreas de la gestión de la CS	51
3.1.3.1	Integración de la CS.....	52
3.1.3.2	Relaciones intra e inter-firma	52
3.1.3.3	Estrategias de la CS	53
3.1.3.4	Desarrollo de productos.....	54
3.1.4	Procesos de la GC	54
3.1.4.1	Exploración.....	55
3.1.4.2	Explotación.....	55
3.1.5	Discusión.....	56
3.2	Aplicación del enfoque de modelado de agentes inteligentes en la CS	57
3.2.1	Discusión.....	59
3.3	El problema de ubicación de instalaciones en la CS humanitaria.....	60
3.3.1	Discusión.....	65
Capítulo 4. Metodología de investigación.....		67
4.....		67
4.1	Análisis comparativo de la metodología propuesta con los trabajos publicados	67
4.2	Descripción de la metodología propuesta	69
4.3	Etapa 1. Análisis	71
4.4	Etapa 2. Estandarización	74
4.5	Etapa 3. Diseño	76
4.5.1	Introducción	76
4.5.2	Marco de referencia para la CS agroalimentaria.....	77
4.5.3	Descripción de los agentes para la CS de café verde	82
4.5.3.1	Reglas de toma de decisiones para los agentes decisión.....	84
4.6	Etapa 4. Desarrollo.....	97
4.6.1	Validación y diseño de experimentos	99
4.7	Etapa 5. Simulación	102
4.8	Aplicación de la metodología en la CS humanitaria.....	107
4.8.1	Introducción	107
4.8.2	Marco de referencia para la CS humanitaria.....	108
4.8.3	Descripción de los agentes para la CS humanitaria	110
4.8.3.1	Agente Zona de estudio	111
4.8.3.2	Agente Red humanitaria	118
4.8.3.3	Agente Inventario	126
4.9	Conclusión	127

Capítulo 5. Resultados	128
5.....	128
5.1 Resultado de la aplicación de la metodología en la CS agroalimentaria	128
5.1.1 Resultado de la etapa 1.....	128
5.1.2 Resultado de la etapa 2.....	128
5.1.3 Resultado de la etapa 3.....	132
5.1.4 Resultado de la etapa 4.....	135
5.1.5 Resultado de la etapa 5.....	135
5.2 Resultado de la aplicación de la metodología en la CS humanitaria	136
5.2.1 Determinación de la zona de estudio.....	136
5.2.1.1 Área de estudio	137
5.2.2 Diseño de la red humanitaria.....	143
5.2.2.1 Optimización monocriterio.....	143
5.2.2.2 Optimización multicriterio.....	144
5.2.3 Determinación de los niveles de inventario	147
5.3 Conclusión	148
Conclusiones y perspectivas.....	150
6.....	150
Referencias.....	155

Índice de figuras

Figura 2.1 CS genérica (sombreada) dentro de una red de CS.....	24
Figura 2.2 Organización del modelo SCOR en torno a cinco procesos de gestión.....	25
Figura 2.3 Marco de modelado para la CS.....	28
Figura 2.4. Dimensiones de la GC	30
Figura 2.5 Eslabones de la CS humanitaria.....	37
Figura 2.6 Modelo del agente actor.....	42
Figura 2.7 Modelo del agente actor aplicado a la CS.....	42
Figura 3.1 Distribución de los artículos revisados por año durante el período del estudio.....	48
Figura 3.2 Desglose de los artículos revisados por metodología de investigación	49
Figura 3.3 Distribución de los artículos revisados por área de la gestión de la CS.....	51
Figura 3.4 Aplicación de agentes inteligentes en áreas específicas de conocimiento.....	57
Figura 3.5 Número de artículos por área de la gestión de la CS	58
Figura 3.6 Número de artículos por eslabón de la CS.....	59
Figura 3.7 Distribución de los artículos revisados por año	65
Figura 4.1 Contribución de la metodología propuesta y los trabajos publicados.....	68
Figura 4.2 Metodología general	69
Figura 4.3 Modelo estructura de la CS agroalimentaria caso de estudio	72
Figura 4.4 Elementos de proceso de nivel tres del modelo SCOR - Proceso de fabricación por pedido en la empresa focal.....	75
Figura 4.5 Marco de referencia para el modelado de la cadena agroalimentaria utilizando el enfoque de agentes.....	79
Figura 4.6 Sistema de producción de flujo flexible del productor de café verde	94
Figura 4.7 Diagrama de estado UML para el proceso de fabricación por orden de la empresa focal....	98
Figura 4.8 Demanda mensual agregada del productor de café verde (empresa focal) entre octubre 2015 y marzo 2018.....	103
Figura 4.9 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda creciente	104

Figura 4.10 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda unimodal.....	105
Figura 4.11 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda unimodal.....	106
Figura 4.12 Proceso de toma de decisiones para la CS humanitaria.....	108
Figura 4.13 Marco de referencia para la CS humanitaria utilizando el enfoque de agentes	109
Figura 4.14 Gráfica K-medias	113
Figura 4.15 Código DBSCAN	113
Figura 4.16 Código Agglomerative.....	113
Figura 4.17 Métricas para k-medias.....	114
Figura 4.18 Métricas para aglomerativo promedio	114
Figura 4.19 Métricas para aglomerativo completo.....	115
Figura 4.20 Métricas para aglomerativo único.....	115
Figura 4.21 Proceso para la zona de estudio	116
Figura 4.22 Zonas de influencia para centro de distribución	118
Figura 4.23 Enfoque de solución.....	119
Figura 4.24 Modelo matemático en Excel.....	125
Figura 4.25 Optimización multicriterio Clúster 0	126
Figura 4.26 Estructura de la CS humanitaria	127
Figura 5.1 Programa de producción actualizado para la demanda $t_{mod} = 7$ y $E^- = 2$	134
Figura 5.2 Producción/Inventario de entrada/Resultados del inventario de salida para demanda creciente, unimodal y decreciente.	136
Figura 5.3 Registro de daños en aplicación móvil	138
Figura 5.4 Índice Davies-Bouldin	140
Figura 5.5 Coeficiente de Silueta	140
Figura 5.6 Seis clústeres.....	141
Figura 5.7 Once clústeres	141
Figura 5.8 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 0.....	145
Figura 5.9 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 1.....	145
Figura 5.10 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 2.....	145

Figura 5.11 Frente de Pareto clúster 0.....	146
Figura 5.12 Frente de Pareto clúster 1.....	146
Figura 5.13 Frente de Pareto clúster 2.....	146
Figura 5.14 Mapa de la zona de estudio determinada	147
Figura 5.15 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 0.....	147
Figura 5.16 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 1	148
Figura 5.17 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 2.....	148

Índice de tablas

Tabla 2.1 Características de la CS agroalimentaria.....	35
Tabla 3.1a Estudio analizados referentes al problema de ubicación en la CS humanitaria	61
Tabla 4.1 Agentes y actividades para la CS de café verde.....	82
Tabla 4.2 Codificación de las variables del modelo tipo Mamdani para el rendimiento del cultivo de café.....	85
Tabla 4.3 Modelo difuso de Rendimiento por hectárea: Conjuntos difusos e intervalos de operación.	86
Tabla 4.4 Codificación de las variables de los modelos tipo Mamdani para la calificación de calidad de una muestra de café.....	87
Tabla 4.5 Modelo difuso de Clase de café robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación	88
Tabla 4.6 Modelo difuso de Clase de café pergamino: Conjuntos difusos e intervalos de operación. ..	89
Tabla 4.7 Codificación de las variable de los modelos tipo Mamdani para la programación del proceso de clasificación de las entradas de café.....	90
Tabla 4.8 Modelo difuso de Selección del proceso de café oro natural robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación.....	91
Tabla 4.9 Modelo difuso de Selección del proceso de café bola robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación.	92
Tabla 4.10 Modelo difuso de Selección del proceso de café pergamino: Conjuntos difusos e intervalos de operación.	92
Tabla 4.11 Índices	94
Tabla 4.12 Parámetros.....	94
Tabla 4.13 Variables	94
Tabla 4.14 Parámetros del algoritmo de reprogramación	96
Tabla 4.15 Datos para la validación del modelo de simulación.....	100
Tabla 4.16 Número de replicaciones del modelo de simulación.....	101
Tabla 4.17 Agentes y actividades para la CS de café verde.....	111
Tabla 4.19 Índices	119
Tabla 4.20 Parámetros del modelo	120
Tabla 4.21 Variables de decisión del modelo.....	120
Tabla 4.22 Criterios de optimización	123

Tabla 4.23 Variables de optimización.....	123
Tabla 4.24 Constantes en el modelo matemático	124
Tabla 4.25 Variables dependientes.....	124
Tabla 4.26 Funciones objetivo a optimizar	125
Tabla 5.1 Casos para la toma de decisiones en las prácticas agrícolas	129
Tabla 5.2 Resultado del modelo de simulación para el rendimiento de café	129
Tabla 5.3 Proceso de catación de café pergamino.....	130
Tabla 5.4 Proceso de catación de café robusto.....	130
Tabla 5.5 Determinación de proceso productivo.....	131
Tabla 5.6 Resultado de indicadores de desempeño	132
Tabla 5.7 Once clústeres	142
Tabla 5.8 Seis clústeres	142
Tabla 5.9 Optimización monocriterio C0.....	143
Tabla 5.10 Optimización monocriterio C1.....	144
Tabla 5.11 Optimización monocriterio C2.....	144

Introducción

Desde el punto de vista sistémico, una cadena de suministro (CS) puede entenderse como un sistema de flujos bidireccionales, un flujo físico y un flujo de capital coordinados por un flujo de información y un flujo de conocimiento que habilitan la cadena de valor para servir al cliente. La administración sistemática de estos flujos es la clave para el éxito de la CS; por lo tanto, la gestión de la CS eficaz implica la gestión tanto de los activos de la CS como los flujos, para maximizar la rentabilidad total de la CS (Chopra & Meindl, 2007). La CS se puede representar, analizar y configurar a través de la aplicación del modelo de referencia *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) desarrollado por el *Supply Chain Council*. El modelo SCOR se desarrolló para describir las actividades de negocio asociados a todas las fases de la satisfacción de la demanda de un cliente y está organizado en torno a los cinco procesos de gestión primarios, Planificación (*Plan*), Abastecimiento (*Source*), Fabricación (*Make*), Entrega (*Deliver*) y Devolución (*Return*); la descripción de las cadenas de suministro utilizando estos bloques de construcción de procesos, el modelo puede ser utilizado para describir cadenas de suministro que son muy simples o muy complejas utilizando un conjunto común de definiciones de métricas de desempeño, procesos, mejores prácticas y habilidades necesarias para llevar a cabo los procesos de la CS (Supply Chain Council, 2010).

La transición de un enfoque intensivo de procesamiento de datos a procesos de negocios basados en el conocimiento ha hecho crítico el estudio del flujo de conocimiento entre los actores de la CS; resaltando el foco en la gestión del conocimiento (GC). Fundamentalmente, el objetivo de la GC es el manejo sistemático del conocimiento y del conocimiento potencial (Heisig, 2009) con un enfoque en la creación de valor a partir de los recursos intangibles tanto dentro como fuera de una organización (Rubenstein-Montano et al., 2001). Desde una perspectiva inter-organizacional, las empresas necesitan desarrollar capacidades relacionadas a la GC para explorar y explotar el conocimiento, como argumentan Malhotra, Gosain, & El Sawy (2005): “*la capacidad de las empresas para adquirir y asimilar información de sus socios de la cadena de suministro y para transformar y explotar esta información con el fin de lograr resultados operacionales y estratégicos superiores*”.

Existe también evidencia teórica y empírica en la literatura acerca de la relación entre la implementación de GC y el mejoramiento del desempeño (Chandra & Kamrani 2003; Raisinghani & Meade 2005; Chandra & Tumanyan 2007; Nachiappan, Gunasekaran, & Jawahar 2007; Cha, Pingry, & Thatcher 2008; Chen et al. 2008; Verma & Tiwari 2009; Li and Hu 2012; More & Basu 2013). Sin embargo, (Heisig, 2015) resalta la necesidad de demostrar la influencia positiva de la GC como un desafío importante a superar para que la GC sea aceptada como un enfoque de gestión efectivo tanto en la práctica como en la academia.

En los siguientes puntos, se describe brevemente el contenido de cada capítulo de este documento:

1. Capítulo 1 Generalidades. En este capítulo, se describe la problemática relacionada con la GC en la CS con énfasis en la CS agroalimentaria y los retos en referencia con la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación; así como en la CS humanitaria y el problema de la ubicación de instalaciones. Asimismo se describen los objetivos, la hipótesis, y la justificación de la utilización del enfoque del método de solución propuesto en este trabajo explicando la perspectiva de modelado de la CS utilizando agentes inteligentes.
2. Capítulo 2 Marco Teórico. En este apartado describen los conceptos técnicos-teóricos utilizados en este trabajo de investigación, incluyendo las dimensiones de la GC en la CS y las características de CS agroindustrial con énfasis en la planeación de la producción. Se presenta también una revisión de las características de la CS humanitaria. Este capítulo contiene una explicación de las técnicas de inteligencia artificial utilizadas para el desarrollo y validación del sistema de GC. El capítulo incluye también la explicación de las razones por las cuales estas técnicas son utilizadas para modelar la CS, y las ventajas de su aplicación.
3. Capítulo 3 Estado del arte. En esta sección la revisión de la literatura que reúne información de artículos científicos en el área de conocimiento. La primera Sección comprende estudios referentes al papel de la GC en la administración de la CS. La segunda Sección analiza la aplicación del enfoque de modelado de agentes inteligentes en la CS. La tercera Sección presenta una revisión del problema de ubicación de instalaciones en la CS humanitaria.
4. Capítulo 4 Metodología de investigación. El contenido inicia con el análisis comparativo de la metodología propuesta con los trabajos publicados y la descripción de la metodología que se enmarca en las etapas de análisis, estandarización, diseño y desarrollo, y simulación. Primero, el desarrollo del capítulo presenta la aplicación de la metodología en la CS agroalimentaria. Segundo, se explica la aplicación de la metodología en la CS humanitaria.
5. Capítulo 5 Resultados. El desarrollo de este capítulo inicia con la presentación de los resultados de la aplicación de la metodología con enfoque en la programación de producción agregada reactiva en la CS agroalimentaria caso de estudio; además, presenta una discusión referente a la selección de las reglas de toma de decisiones para los agentes decisión. Se explican los experimentos computacionales que tiene como objetivo explorar casos de uso para el SGC para investigar diferentes patrones de demanda. El capítulo concluye con la explicación de los resultados de la aplicación de la metodología en la CS humanitaria con enfoque en la ubicación de instalaciones humanitarias.

Capítulo 1. Generalidades

Resumen

En este capítulo, se describe la problemática relacionada con la GC en la CS con énfasis en la CS agroalimentaria y los retos en referencia con la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación; así como en la CS humanitaria y el problema de la ubicación de instalaciones. Asimismo se describen los objetivos, la hipótesis, y la justificación de la utilización del enfoque del método de solución propuesto en este trabajo explicando la perspectiva de modelado de la cadena de suministro utilizando agentes inteligentes.

1.1 Introducción

Dentro del contexto de la CS, se puede hacer referencia a la cuantificación de los beneficios en el rendimiento como resultado de la implementación de iniciativas de la GC. Kenneth T. Derr, Presidente y Director Ejecutivo de *Chevron Corporation*, en el *Knowledge Management World Summit* de 1999, admitió la reducción de los costos operativos durante un período de siete años de alrededor de 9.400 millones de dólares a 7.400 millones de dólares (Derr, 1999). Por otro lado, una encuesta realizada por la revista *Supply & Demand Chain Executive* en el periodo de noviembre a diciembre de 2015 relacionada con el estado de la fuerza laboral técnica en 506 empresas, encontró que el 48 por ciento de las empresas no tienen prácticas formales de retención de conocimiento para evitar que el conocimiento desaparezca a medida que los trabajadores del conocimiento se retiran (McCrea, 2016). Una de las prácticas para la retención y transferencia del conocimiento es la utilización de una plataforma técnica para la GC; su uso puede llevar a una reducción del 30% en el tiempo que los trabajadores del conocimiento dedican a buscar y procesar la información, por lo que estos pueden centrarse en la resolución de problemas, lo que se traduce, de acuerdo con Reese (2013) en: “*dos veces mayor retorno para los accionistas, cuatro veces mayor retorno de los ingresos, y 3,5 veces mayor rendimiento de los activos.*”

Los sistemas de gestión del conocimiento (SGC) se refieren al uso de tecnologías de comunicación, colaboración, almacenamiento, y apoyo a la decisión para sistematizar la GC intra e inter-empresa (Efraim Turban, Aronson, & Liang, 2007). El término SGC abarca los conceptos de sistema de soporte de decisiones basado en documentos y sistema de soporte de decisiones basado en conocimiento (Schuff, Paradice, Burstein, Power, & Sharda, 2010); los sistemas de soporte de decisiones basados en documentos integran una variedad de tecnologías de almacenamiento y procesamiento para proporcionar la recuperación y análisis de documentos para ayudar en la toma de decisiones, mientras que los sistemas de soporte de

decisiones basados en conocimiento utilizan inteligencia artificial y tecnologías de inferencia estadística para sugerir o recomendar acciones a los gerentes mediante la codificación de conocimiento para proporcionar asistencia especializada en la resolución de problemas. Los SGC basados en modelos, además de estar basados en documentos y conocimiento, enfatizan el acceso y la manipulación de un modelo cuantitativo complejo (financiero, de simulación, de optimización) para proporcionar soporte de decisiones; usan datos y parámetros proporcionados por los responsables de la toma de decisiones para ayudarlos a analizar una situación (Schuff et al., 2010).

De lo anterior, las empresas están aprovechando las herramientas especializadas de resolución de problemas adaptadas a las necesidades específicas de cada organización, las cuales permiten a los trabajadores del conocimiento analizar y recuperar inteligencia del todo el contenido a su disposición (Reese, 2013). La inteligencia artificial se ha propuesto como una herramienta útil para el apoyo a la toma de decisiones, la cual ayuda a los miembros de la CS a conectarse, facilitando el intercambio de información entre los diversos actores empresariales a través de la CS, sustituyendo activos como el inventario, las instalaciones, el transporte, el equipo, por información. Min (2010) resalta la importancia de que los miembros de la CS aumenten su aprendizaje en las bases de conocimiento con el objetivo de automatizar los procesos de toma de decisiones en la CS.

Dentro de las técnicas de inteligencia artificial se encuentran (Grundspenkis & Kirikova, 2005): 1) los sistemas tradicionales de inteligencia artificial como los sistemas expertos y los sistemas de soporte a la decisión, 2) los agentes inteligentes y 3) la realidad virtual. Los agentes inteligentes es una técnica de inteligencia artificial distribuida que tiene la capacidad de jugar un papel clave en la GC debido a que los sistemas de información modernos son distribuidos, amplios, complejos y heterogéneos y, como los sistemas basados en agentes están destinados normalmente a actuar en entornos complejos, abiertos, dinámicos e impredecibles, así como requieren procesar grandes cantidades de datos, información y conocimiento descentralizados. Al mismo tiempo, los sistemas basados en agentes son una técnica válida para representar y analizar la CS (Pino, Fernández, Fuente, Parreño, & Priore, 2010) debido a las características de autonomía, habilidad social (comunicación), reactividad (modificación de su comportamiento) y proactividad (lleva a cabo nuevas actividades) de un agente inteligente, además de las funciones que puede realizar (Hayes-Roth, 1995): 1) percepción de las condiciones dinámicas del entorno 2) ejecuta acciones que afectan las condiciones del entorno, y 3) razonamiento para interpretar las percepciones, resolver problemas, sacar conclusiones y determinar las acciones. El modelado y simulación basados en agentes es un enfoque para modelar sistemas compuestos por agentes autónomos que interactúan; los agentes tienen comportamientos, a menudo descritos por reglas, e interacciones con otros agentes, que a su vez influyen en sus comportamientos (Macal & North, 2010).

Los sistemas de GC basados en agentes implican que el sistema real de interés se modela e implementa en software de simulación utilizando principios de modelado y simulación basados en agentes (Hilletofth, Aslam, & Hilmola, 2010); estos principios significan que el sistema real se modela como un conjunto de agentes que interactúan en un entorno definido y se presume que los agentes actúan en lo que perciben como sus propios intereses, como el beneficio económico (tienen misiones individuales), y su conocimiento sobre todo el sistema es limitado (Macal & North, 2010). La capacidad de coordinación también hace posible que los agentes coordinen sus acciones (Hilletofth & Lättilä, 2012). Los sistemas de GC basados en agentes se han encontrado prometedores en la gestión de la CS, en la coordinación y colaboración de licitación mediada por agentes, subasta y contratación, así como en la gestión del conocimiento empresarial (Wu, 2001).

En el presente trabajo de investigación se presenta el desarrollo de un SGC basado en la integración del enfoque multi-agente y el modelo SCOR para la administración de la CS. En los siguientes párrafos se describe la problemática referente a la CS agroalimentaria, los objetivos, la hipótesis y la justificación.

1.2 Problema de investigación de la CS agroalimentaria

Un desafío principal para la GC en el contexto de la CS agroalimentaria se relaciona con la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación debido a variaciones impredecibles en calidad, momento y cantidad en la producción primaria; la necesidad de una alta eficiencia del equipo técnico a pesar de los largos tiempos de producción de la industria alimentaria; y una intrincada estructura de red donde muchas granjas y procesadores de alimentos comercian con multinacionales en el sector mayorista/minorista. Este desafío se deriva de las siguientes características de la CS agroalimentaria (Verdouw, Robbemond, Verwaart, Wolfert, & Beulens, 2015): i) para el escalón productor primario, el crecimiento estacional a menudo se limita a un período específico en una región geográfica, que depende de la gestión del clima y las prácticas agrícolas, ii) para el escalón procesador de alimentos, sistemas de producción de alto volumen y baja variedad combinados con alto volumen entregas frecuentes, y iii) para el escalón mayorista/minorista, la variabilidad de la calidad y la cantidad de suministro de insumos agrícolas junto con las altas demandas de los consumidores, incluida la legislación de seguridad alimentaria y los estándares de calidad. Este desafío requiere una toma de decisiones conjunta para aprovechar los recursos de conocimiento en la CS agroalimentaria.

El uso y la simulación de modelos basados en agentes para la toma de decisiones dentro de la industria agroalimentaria se han aplicado considerando la integración de la logística, la decadencia de la calidad y la sostenibilidad (van der Vorst, Tromp, & van der Zee, 2009; Yasmine, Ghani, Trentesaux, & Bouziane, 2014). Desde un enfoque de modelado y simulación basado en agentes, un sistema se modela como un conjunto de agentes autónomos

que interactúan entre sí y con el entorno; los agentes tienen comportamientos influenciados por las interacciones de los agentes (Macal & North, 2010). Según el comportamiento de un agente (Zhang & Xie, 2007) i) los agentes pueden responder en un modo de acción de evento (agente reactivo), ii) los agentes pueden tener conocimiento de dominio para llevar a cabo una secuencia de acciones con el fin de lograr un objetivo (agente deliberativo), y iii) los agentes pueden abarcar ambas características. Estos comportamientos tienen implicaciones importantes en el uso del enfoque de modelado basado en agentes como una metodología válida para modelar la CS. Además, para los investigadores y profesionales de la CS, Hilletofth & Lättilä (2012) destacaron los beneficios de los sistemas basados en agentes, incluida la capacidad de convertir la experiencia del gerente en agentes, la capacidad de realizar experimentos y análisis hipotéticos a través de sistemas basados en simulación y la mayor previsibilidad de las operaciones en el sistema real. El componente de funcionalidad central de un sistema basado en modelos de simulación es un modelo cuantitativo y es utilizado por los encargados de tomar decisiones para ayudar a analizar un sistema real mediante modelado y recopilación de datos, validación del modelo, configuración de parámetros del sistema y evaluación del sistema (Power & Sharda, 2007).

1.3 Problema de investigación de la CS humanitaria

Un desastre es un evento no-rutinario que excede la capacidad del área afectada para responder de tal manera que se pueda salvar vidas; preservar la propiedad; y mantener la estabilidad social, ecológica, económica y política de la región afectada (Pearce, 2000). Las pérdidas para la humanidad generadas por los desastres naturales son sin duda masivas- en promedio, globalmente más de 100,000 personas perdieron la vida y 246 millones se vieron afectadas por los desastres naturales durante el periodo 2002-2011(Sahay, Gupta, & Menon, 2015).

De los desastres naturales, los sismos son los menos predecibles, además el intervalo entre la amenaza del sismo y su ocurrencia es el menor de entre los desastres mayores. Es por esto que los sismos encabezan la escala de mortalidad inmediata y destrucción estructural. Estadísticas publicadas después del terremoto de Kobe muestran que el 71% de las víctimas fallecieron durante los 14 minutos del temblor (Guha-Sapir, Hargitt, & Hoyois, 2004). Un sismo es un rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra, cuya liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno. De acuerdo al Servicio Sismológico Nacional México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: la placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe; y el número total de sismos en el país incrementa año con año.

Las mejores prácticas en la logística humanitaria y la administración de la CS por los países desarrollados y la agencias internacionales de asistencia humanitaria enfatizan que la logística

humanitaria tiene un rol significativo en el mejoramiento de la preparación de las comunidades y gobiernos para lidiar con los retos derivados por la frecuencia en incremento de desastres naturales y hechos por el hombre (Sahay et al., 2015). La entrega de suministros después del desastre es extremadamente difícil debido al daño a la infraestructura física y virtual, y a la limitada (o no existente) capacidad de transporte en las áreas afectadas (Holguín-Veras et al., 2012). Actualmente la toma de decisiones, en cuanto a la colocación de almacenes y puntos de distribución de suministros se hace de manera instantánea, con muy poca o nula planeación pues no se cuenta con herramientas que permitan una rápida capacidad de respuesta y que ésta respuesta sea la óptima. Estas decisiones dependen de una persona que se ve obligada a responder y coordinar los esfuerzos de abastecimiento de forma empírica, con nulo uso de procesos de GC.

Como resultado de las características únicas y complejas de la logística humanitaria hay una necesidad de herramientas analíticas que capturen dicha complejidad y permitan a los tomadores de decisiones determinar el mejor curso de acción en las situaciones de desastre (Holguín-Veras et al., 2012). Los temas propuestos por Holguín-Veras, para el desarrollo de estas herramientas, en su artículo sobre las características únicas de la logística humanitaria posterior al desastre, incluyen i) modelos de enrutamiento que incorporan costos de privación; ii) modelos de asignación de inventario que incorporan costos de privación; iii) logística inversa; iv) pre posicionamiento de los suministros; v) planeación de puntos de distribución; vi) asignación óptima (dinámica) de recursos para gestionar la convergencia de materiales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un SGC basado en la integración del enfoque de modelado y simulación multi-agente y el modelo SCOR para la administración de la cadena de suministro.

1.4.2 Objetivo específico

1. Identificar los procesos estándar clave para la GC en los procesos de la CS, con el fin de determinar las problemáticas en el flujo de conocimiento de dos cadenas de suministro caso de estudio, la CS agroalimentaria y la CS humanitaria;
2. Determinar un marco de referencia para la CS agroalimentaria utilizando el enfoque de modelado multi-agente y el modelo SCOR;
3. Determinar un marco de referencia para la CS humanitaria utilizando el enfoque de modelado multi-agente y el modelo SCOR;

4. Construir y validar el modelo de simulación multi-agente de la CS caso de estudio para analizar el “estado actual” de los procesos de gestión;
5. Desarrollar e integrar las capacidades de gestión del conocimiento de los agentes toma de decisión del modelo de simulación multi-agente de la CS caso de estudio utilizando técnicas de inteligencia artificial para analizar el “estado futuro” de los procesos de gestión;
6. Desarrollar el sistema de GC mediante la integración del modelo de simulación multi-agente de la CS caso de estudio, una interfaz gráfica del usuario y una interfaz de intercambio de datos.
7. Evaluar el sistema de gestión de conocimiento en la CS caso de estudio mediante la edición de parámetros por parte del tomador de decisiones para comparar métricas de desempeño.

1.5 Hipótesis

Si se establece, con base en procesos estándar, un SGC basado en la integración del enfoque multi-agente y el modelo SCOR, entonces, es posible mejorar el desempeño global de los procesos de cadena de suministro.

1.6 Justificación

Un estudio exploratorio desarrollado por Heisig (2015) reunió los puntos de vista de una red global expertos en el campo de la GC, los cuales resaltaron la importancia del intercambio de conocimiento en la gestión de la CS como un área importante de investigación. Como consecuencia, el desarrollado de la propuesta de tesis tiene objetivo contribuir al estado del arte de las siguientes cuatro temáticas.

- Papel de la GC en la gestión de la CS

Desde el punto de vista metodológico de la investigación existe una mayor utilización de métodos cualitativos, mientras que una minoría de los trabajos adoptan enfoques cuantitativos (Bhosale & Kant, 2016; Marra, Ho, & Edwards, 2012). La propuesta de tesis doctoral a través de la adopción de un enfoque cuantitativo busca ser una aportación a la comprensión y medición del impacto de las estrategias de la GC en el desempeño de la CS, para fortalecer la evidencia de la relación entre la utilización de la gestión del conocimiento y el éxito de la integración de la CS.

- El conocimiento de la CS y el desempeño de la CS

La propuesta de tesis doctoral busca ser una contribución a las brechas de la literatura identificadas por (Wowak, Craighead, Ketchen, & Hult, 2013) acerca de examinar el conocimiento de la CS en países emergentes. Wowak et al. (2013) hace referencia a México,

como un país importante para actividades de *Outsourcing* debido a la proximidad a los Estados Unidos y a la mano de obra menos costosa.

- Inteligencia artificial aplicada a la gestión de la CS

La propuesta de tesis doctoral es una participación en el análisis de la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión CS. De acuerdo con Min (2010), la inteligencia artificial no ha sido enteramente utilizada en el área de la gestión de la CS.

- Modelado de la CS basado en agentes

De acuerdo con Long (2014), la investigación reciente sobre el modelado de la CS basado en agentes no es lo suficientemente profunda y solo se han propuesto solo algunas metodologías competitivas.

1.7 Conclusión

Los resultados de la revisión realizada por Utomo, Onggo, & Eldridge (2017) reportan que la mayoría de las aplicaciones de modelado y simulación basadas en agentes en las cadenas de suministro agroalimentarias se centran en la simulación de la planificación de la producción y las decisiones de inversión. Sin embargo, aunque existe un volumen de literatura sobre aplicaciones de modelos y simulaciones basadas en agentes en las cadenas de suministro agroalimentarias, faltan estudios que consideren actores importantes, como procesadores y minoristas de alimentos en el alcance del modelo, dado que la mayoría de las aplicaciones de modelado y simulación basadas en agentes se centran en un eslabón.

Capítulo 2. Marco teórico

Resumen

En este capítulo se describen los conceptos técnicos-teóricos utilizados en este trabajo de investigación, incluyendo las dimensiones de la GC en la CS y las características de CS agroindustrial con énfasis en la planeación de la producción. Se presenta también una revisión de las características de la CS humanitaria. Este capítulo contiene una explicación de las técnicas de inteligencia artificial utilizadas para el desarrollo y validación del sistema de GC. El capítulo incluye también la explicación de las razones por las cuales estas técnicas son utilizadas para modelar la CS, y las ventajas de su aplicación.

2.1 Generalidades de la administración de la CS

2.1.1 La administración de la CS

En el contexto de una red estructural de CS, los componentes están dispuestos en eslabones (etapas) de manera que las materias primas, partes, productos, etc., fluyen unidireccionalmente hacia adelante, mientras que los flujos de dinero e información fluyen en ambas direcciones. La Figura 2.1, muestra una CS genérica destacando los siguientes eslabones clave:

- El eslabón de suministro alimenta de materia prima o partes a las operaciones de manufactura.
- El eslabón de producción convierte la materia prima y partes en productos terminados.
- El eslabón de distribución consta de una red de distribución (almacenes, centros de distribución y transporte) que transportan productos terminados a los vendedores.
- El eslabón minorista vende productos a clientes finales.

De acuerdo con Simchi-Levi et al. (2003), la gestión de la CS es un conjunto de métodos utilizados para integrar eficientemente a proveedores, fabricantes, almacenes y tiendas, de tal forma que la mercancía sea producida y distribuida en la cantidad y momento adecuados con el fin de reducir al mínimo los costos de todo el sistema mientras que se satisfacen los requerimientos del nivel de servicio del cliente. En esencia, la gestión de la CS tiene como objetivo cumplir con su misión mediante la búsqueda de soluciones que busquen un equilibrio entre los costos del sistema y la satisfacción del cliente.

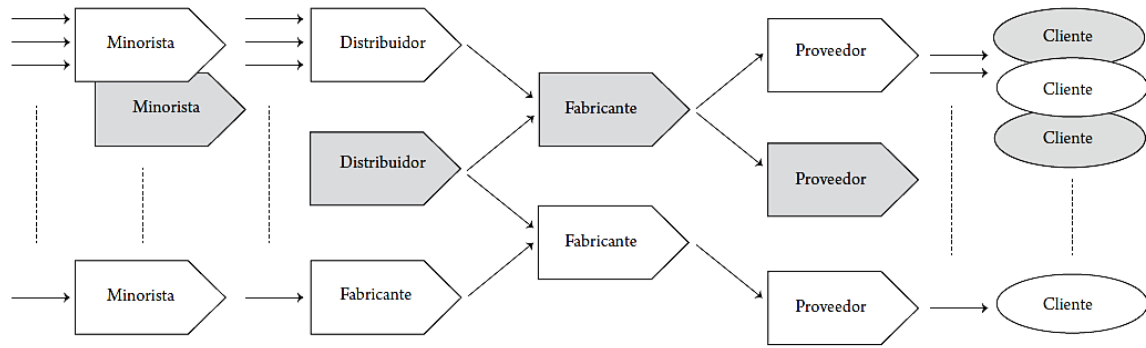


Figura 2.1 CS genérica (sombreada) dentro de una red de CS

Fuente: Adaptado de Van der Vost et ál. (2000)

La gestión de la CS tiene que ver con la integración eficiente y rentable y la coordinación de los elementos de los siguientes rubros de la CS (Altiok & Melamed, 2007): 1) proveedores, fábricas, almacenes y tiendas que abarcan los nodos de la CS, 2) la red de transporte que une estos nodos, 3) la infraestructura de tecnología de la información que permite el intercambio de datos entre los nodos de la CS así como los sistemas de información e instrumentos que apoyan su planificación diseño y operaciones del día a día; y 4) metodologías y algoritmos para controlar el flujo de materiales e inventarios.

La gestión efectiva de la CS permite una mejor prestación de servicio al cliente y de la cadena de valor, a través de la gestión de flujos de información, de producto y monetarios (Waters, 2003). Las compañías globales reconocen a la gestión de la CS como una de las principales competencias básicas para que una organización pueda competir en el mercado (Ko, Tiwari, & Mehnen, 2010).

2.1.2 Modelo de referencia Supply Chain Operations Reference

Los modelos de referencia de procesos integran conceptos conocidos de reingeniería de procesos empresariales, *benchmarking* y medición de procesos, dentro de un marco interfuncional (Bolstorff & Rosenbaum, 2007); por lo tanto involucran: 1) descripciones estándar de procesos de gestión, 2) un marco de relaciones entre los procesos estándar; 3) métricas estándar para medir el rendimiento de los procesos, 4) prácticas de gestión que producen un mejor desempeño, y 5) alineación estándar de características y funcionalidad.

La CS se puede representar, analizar y configurar a través de la aplicación del modelo de referencia *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) desarrollado por el *Supply Chain Council*. El modelo SCOR se desarrolló para describir las actividades de negocio asociados a todas las fases de la satisfacción de la demanda de un cliente y está organizado en torno a los cinco procesos de gestión primarios, Planificación (*Plan*), Abastecimiento (*Source*),

Fabricación (*Make*), Entrega (*Deliver*) y Devolución (*Return*); la descripción de las cadenas de suministro utilizando estos bloques de construcción de procesos, el modelo puede ser utilizado para describir cadenas de suministro que son muy simples o muy complejas utilizando un conjunto común de definiciones de métricas de desempeño, procesos, mejores prácticas y habilidades necesarias para llevar a cabo los procesos de la CS (Supply Chain Council, 2010).

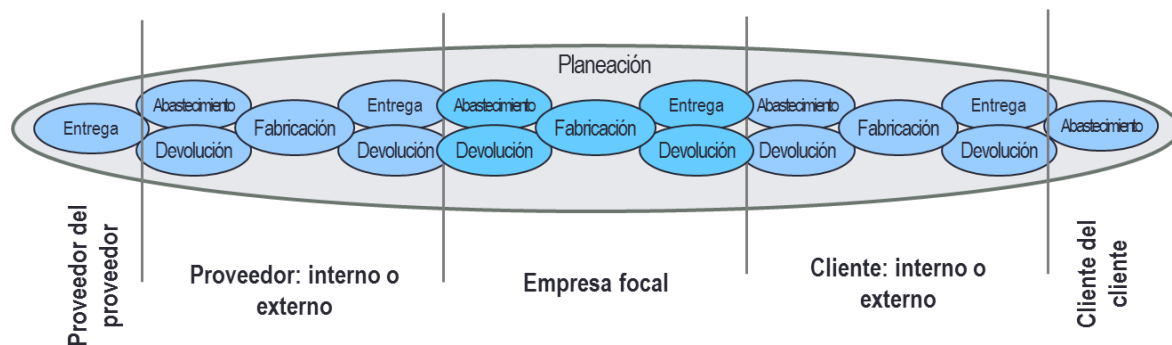


Figura 2.2 Organización del modelo SCOR en torno a cinco procesos de gestión

Fuente: (Supply Chain Council, 2010)

El modelo SCOR abarca (Bolstorff & Rosenbaum, 2007):

- Todas las interacciones con clientes, desde la entrada de pedidos hasta la factura pagada
- Todas las transacciones de productos (material físico y servicio), desde el proveedor del proveedor, hasta el cliente del cliente, incluyendo equipos, suministros, repuestos, productos a granel, software, etc.
- Todas las interacciones del mercado, desde la comprensión de la demanda agregada hasta el cumplimiento de cada pedido.

Con respecto a las métricas de desempeño, el modelo SCOR reconoce cinco atributos de rendimiento:

- **Confiabilidad:** se refiere a la capacidad de realizar las tareas de acuerdo a lo esperado y se centra en la previsibilidad del resultado de un proceso; las métricas típicas para este atributo incluyen: el cumplimiento perfecto de pedidos, la cantidad correcta y la calidad correcta;
- **Capacidad de respuesta:** describe la velocidad a la que se realizan las tareas y toma en cuenta la velocidad repetida de hacer negocios; ejemplo de este tipo de métricas son las métricas de tiempo de ciclo;
- **Agilidad:** denota la capacidad de responder a influencias externas; la capacidad de cambiar. La flexibilidad y la adaptabilidad son algunos indicadores de agilidad;

- Costo: describe el costo de operación del proceso; estos indicadores comprenden el costo de los bienes vendidos y el costo de la gestión de la CS; y
- Gestión de activos: la eficiencia en la gestión de activos describe la capacidad de utilizar eficientemente los activos; estas métricas incluyen días de inventario de suministro y utilización de la capacidad.

El modelo SCOR no intenta describir cada proceso o actividad empresarial, incluyendo las áreas de ventas y marketing; investigación y desarrollo tecnológico; desarrollo de productos; y algunos elementos del servicio de atención al cliente posterior a la entrega (Bolstorff & Rosenbaum, 2007) . No obstante, se pueden establecer vínculos con procesos no incluidos en el ámbito del modelo.

2.1.3 Enfoques de modelado de la CS

Basado en el concepto de incertidumbre de la CS revisado por van der Vorst & Beulens (2002) como una situación de toma de decisiones en la que el tomador de decisiones carece de comprensión; capacidades de procesamiento de información y acciones de control efectivas; los autores afirman que la incertidumbre de la CS podría reducirse mediante la implementación de estrategias de rediseño de escenarios específicos con respecto a la configuración, la estructura de control, los sistemas de información y las estructuras de gobierno. El mapeo del flujo de valor de la CS es una técnica para aprovechar el conocimiento de los actores de suministro de una empresa (Suarez-Barraza, Miguel-Davila, & Vasquez-García, 2016).

Existen diferentes técnicas para modelar la CS, siendo las más utilizadas la programación lineal, la programación entera, la programación mixta entera, los modelos de redes y los modelos de simulación (Kim et ál., 2004). Con los enfoques matemáticos a menudo se requieren demasiadas simplificaciones para modelar problemas reales de la CS, aunque pueden ser útiles para profundizar en el conocimiento de sus principios generales.

En la práctica, la complejidad de las cadenas de suministro se extiende desde las cadenas simples, donde cada eslabón es un solo nodo, hasta las cadenas complejas, donde cada eslabón es una complicada red que consiste en un gran número de nodos y arcos. Debido a la flexibilidad inherente del modelado, la simulación es a menudo considerada como la técnica adecuada para apoyar la toma de decisiones en el diseño de la CS, (Terzi & Cavalieri, 2004); (van der Zee & van der Vorst, 2005).

En la última década se han desarrollado un gran número de herramientas de simulación para el análisis de la CS. Algunas de estas herramientas son paquetes comerciales tales como: *Supply Chain Simulator* de IBM (Bagchi et al., 1998), *Supply Solver* (Schunk & Plott, 2000), e-SCOR (Barnett & Miller, 2000), y el SDI *Supply Chain Builder* (Phelps et al., 2001). También existen las aplicaciones de lenguajes de simulación de propósito general, como por ejemplo,

Arena (Kelton et al., 2009), *Micro Saint Sharp*, (*Micro Saint Sharp Simulation Software*, 2009), y ExtendSim, (Pines et al., 2011). A pesar de las sutiles diferencias que existen, van der Zee & van der Vorst (2005) señalan que las características de modelado de estos lenguajes inciden fuertemente sobre la representación de las transacciones físicas entre las partes de la CS (fabricantes, distribuidores y minoristas), dejando las variables de decisión clave implícitas para algunas o todas las partes implicadas en la CS. En este sentido, en el contexto de la simulación de sistemas de manufactura, Pratt et al. (1994) encontraron que los encargados de la toma de decisiones, las normas de control y sus interacciones están en su mayoría “ocultos.” Sin embargo, en los últimos años ha surgido una nueva arquitectura de *software* para la gestión de la CS a nivel táctico y operacional. Se considera que la CS consiste en un conjunto de agentes inteligentes, cada uno responsable de una o más actividades en la CS y cada uno interactuando con otros agentes en la planificación y ejecución de sus responsabilidades (Gunasekaran et al., 2000).

Por lo general, un marco de modelado captura los elementos esenciales y las relaciones, así como la dinámica del proceso de modelado. La Figura 2.3 presenta el marco de modelado propuesto por van der Zee & van der Vorst (2005). La base de dicho marco es la librería que contiene los bloques de construcción de la herramienta de simulación y los modelos mentales del analista y los miembros de la CS que son los propietarios del problema.

En el contexto del análisis de la CS, van der Zee & van der Vorst (2005) proponen que deberían existir las siguientes exigencias en el diseño del modelado y la simulación de la CS:

1. Elementos y relaciones del modelo: Las cadenas de suministro asumen un enfoque integral a la transformación física, el procesamiento de datos y la toma de decisiones.

Sobre todo, la asignación de las políticas de control a determinados miembros de la cadena y las relaciones, tales como la jerarquía y la coordinación, merecen una atención explícita como variables de decisión. Esto requiere la noción explícita de los actores, los roles, las políticas de control, los procesos y flujos en el modelo.

2. Dinámica del modelo: Teniendo en cuenta las diversas partes involucradas, un tema importante es el control de los efectos dinámicos dentro de la CS, y cómo se refleja en, por ejemplo, los niveles de inventario y los tiempos de entrega. Por lo tanto, la logística del control, es decir, el tiempo y la ejecución de las actividades de decisión, debe ser explícita.

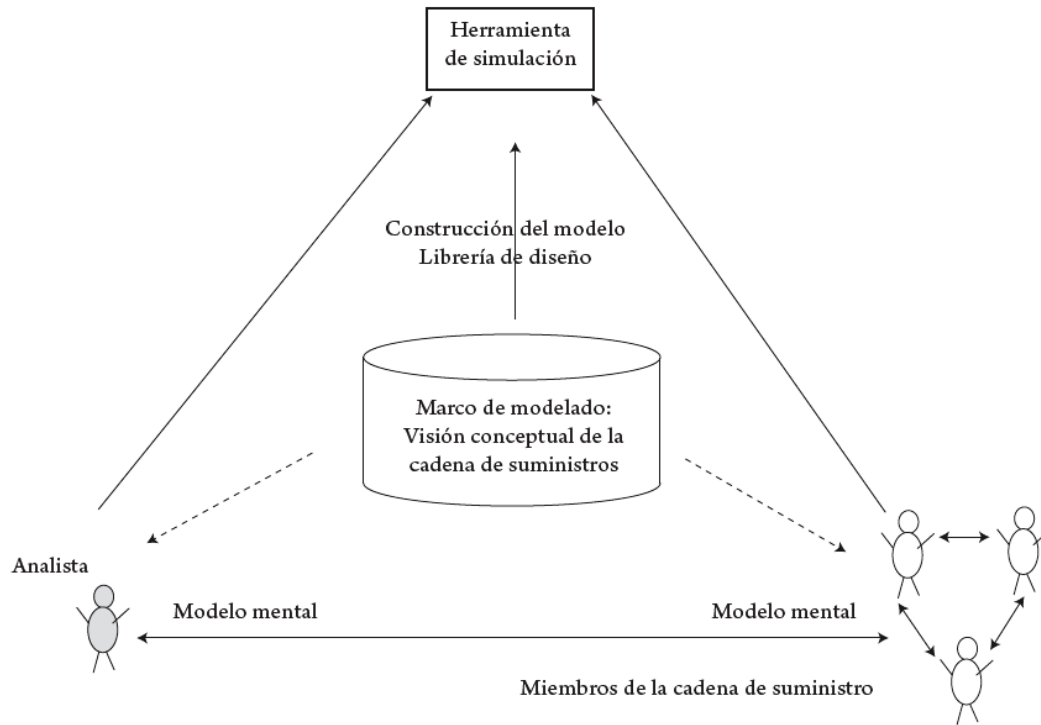


Figura 2.3 Marco de modelado para la CS
Fuente: (Van der Zee & Van der Vorst, 2005).

Esto requiere la capacidad de determinar el estado del sistema para calcular los valores de los múltiples indicadores de desempeño en todo momento. Más importante aún es, asignar indicadores de desempeño para las etapas de la CS correspondiente.

3. Interacción con el usuario: En el estudio de simulación, la participación activa y solidaria de las partes de la CS es necesaria por las siguientes razones:

- En primer lugar, como un medio para crear confianza en el planteamiento de la solución y entre las partes involucradas. En consecuencia, hay más posibilidades de aceptación de los resultados del estudio de simulación.
- En segundo lugar, la calidad de la solución puede ser mejorada. Esto se refiere a lo acertado del modelo así como a la calidad de la representación del “escenario” de la cadena. Evidentemente, es casi imposible para el analista tener una visión completa de toda la información pertinente y los conocimientos sobre el comportamiento de la cadena. Por lo tanto, la contribución del propietario del problema, en términos de soluciones adaptadas y alternativas, es vital para el éxito del proyecto.

4. **Facilidad de reutilización:** Dada la complejidad de la CS, el gran número de escenarios imaginables y los deseos y necesidades de los propietarios problema, el análisis “¿qué pasaría si?” debe ser simple y transparente. Esto afecta tanto a la elección de los bloques de construcción del modelo y como el tiempo necesario para adaptarlos en el formato adecuado para la adopción del modelo. Otra demanda se refiere a la necesidad de reutilizar el modelo. Modelos reutilizables pueden ayudar a aumentar la velocidad del modelado y el análisis de escenarios alternativos.

El éxito final de la simulación de la CS estará determinado por una combinación de habilidades del analista, la participación de los miembros de la cadena y las capacidades de modelado de la herramienta de simulación.

2.2 Dimensiones de la gestión del conocimiento en la CS

Liew (2008) reconoció a la GC como “*una de las principales fuerzas motrices del cambio organizacional y de la creación de valor desde principios de 1990*”, que se ha convertido más compleja como resultado de una evolución del concepto gerencial. Dada la naturaleza intangible de los recursos del conocimiento, la importancia de la GC se basa en el conocimiento que está implícito en rutinas, procedimientos estándar, capacidades dinámicas y recursos inimitables (Pawlowsky & Schmid, 2012), por ende, los recursos del conocimiento tienen una implicación en la ventaja competitiva.

El manejo sistemático del conocimiento abarca cuatro actividades básicas: la transferencia del conocimiento, el almacenamiento del conocimiento, la transferencia del conocimiento y la aplicación del conocimiento, en consecuencia, por lo que estos procesos de la GC podrían ser vistos como un conjunto interconectado de actividades y al mismo tiempo como un proceso interconectado fusionado con tareas existentes e integrado al proceso de negocio (Alavi & Leidner, 2001; Heisig, 2009).

Sangari, Hosnavi, & Zahedi (2015) sugieren que los procesos de la GC son fundamentales para la adopción efectiva de la GC, de este modo requiriendo convertir el conocimiento personal en conocimiento corporativo que pueda ser ampliamente compartido y aplicado apropiadamente. En este sentido, trabajadores del conocimiento poseen un conocimiento relevante para las organizaciones como creadores del conocimiento y usuarios del conocimiento y, eventualmente, como aprendices continuos en organizaciones en las que el conocimiento es el producto principal, continuamente creado y renovado (Moyer, 2005). Por lo tanto, darle a los trabajadores del conocimiento acceso a una base de conocimientos mejoraría el desempeño de los procesos de negocio y de gestión (Earl, 2001).

Partiendo de la suposición de que la investigación de GC ha intentado describir el fenómeno de la GC a través de *frameworks*, Heisig (2009) analizó, con un enfoque cuantitativo y cualitativo, 160 *frameworks* referentes a la GC con respecto al uso y comprensión del término

conocimiento, incluyendo los términos utilizados para designar las actividades de los procesos de GC y los factores que influyen en el éxito de la GC. Sobre la base de los resultados de este estudio y otros datos empíricos, Heisig (2009) proporcionó un marco para la GC de tres capas. Cada capa representa una dimensión de la GC: dimensión del enfoque de procesos de negocio, dimensión del enfoque de procesos de GC y dimensión del enfoque de facilitadores de la GC. La Figura 2.4 muestra la representación de estas tres dimensiones de la GC.

La dimensión del enfoque de procesos de negocio se refiere a la caracterización del desempeño resultado de la implementación de la GC. Los beneficios de la GC deben demostrarse en los procesos de gestión clave, así como en los trabajadores del conocimiento que ejecutan procesos de gestión de la calidad diariamente (Heisig, 2009).

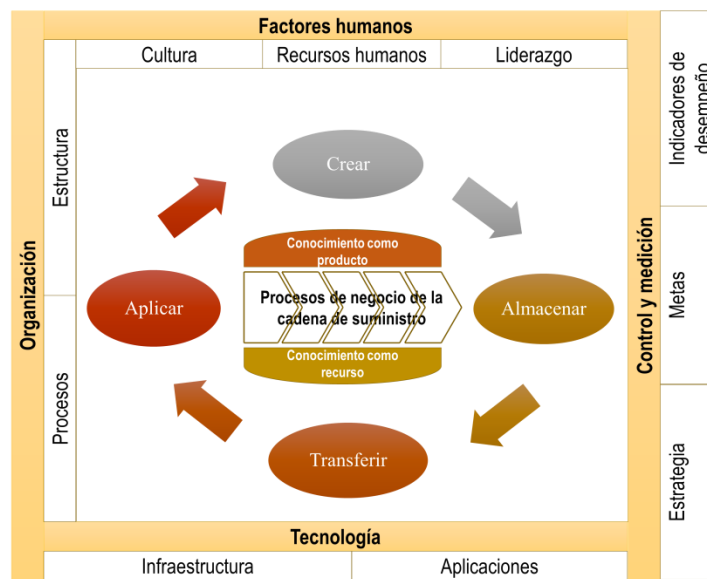


Figura 2.4. Dimensiones de la GC
Fuente: Adaptado de Heisig (2009)

La dimensión del enfoque de procesos de GC denota el manejo sistemático del conocimiento dentro de cuatro actividades principales: creación del conocimiento, almacenamiento del conocimiento, transferencia del conocimiento y aplicación del conocimiento, por lo que estos procesos de la GC podrían ser vistos como un conjunto interconectado de actividades y al mismo tiempo como un proceso interrelacionado fusionado con las tareas existentes e integrado en el proceso de negocio (Alavi & Leidner, 2001; Heisig, 2009).

La dimensión del enfoque de facilitadores de la GC denota las áreas en las cuales una evaluación apropiada de la GC resultará en una iniciativa exitosa y sostenible de gestión del conocimiento (Heisig, 2009).

2.2.1 *Enfoque de proceso de negocio en la CS*

El desempeño de la CS se define como “*los beneficios derivados de la cooperación de la CS, incluyendo la mejora de la eficiencia y tiempo ciclo, así como la reducción de costos*”; el intercambio de conocimientos entre firmas tiene una influencia positiva en el desempeño de la CS (Ryoo & Kim, 2015).

El enfoque basado en el conocimiento ha sido utilizado como fundamento teórico para discutir el vínculo entre la GC y el desempeño de CS (Blome, Schoenherr, & Eckstein, 2014; Cheung, Cheung, & Kwok, 2012; Craighead, Hult, & Ketchen Jr., 2009; Hult, Ketchen, & Slater, 2004; Liu, Ke, Wei, & Hua, 2013b; Singh & Power, 2014).

La principal hipótesis de la teoría basada en el conocimiento es la comprensión del conocimiento como un recurso productivo primario con una connotación estratégica en el proceso de agregar valor (Grant, 1996). Por ende, desde una perspectiva basada en el conocimiento, como sostienen Sangari et al. (2015): “*el conocimiento puede ser visto como una fuente de ventaja competitiva en la cadena de suministro y mejorar los resultados de la cadena de suministro*”.

La perspectiva teoría basada en recursos también ha sido notada por los investigadores para realizar un acercamiento a la disciplina de la GC. Desde esta perspectiva teórica, como argumentan Halley, Nollet, Beaulieu, Roy, & Bigras (2010): “*la visión basada en los recursos y la gestión del conocimiento encajan a través de la traducción de recursos a conocimiento, es decir, el uso eficiente de los recursos como la noción del aprendizaje organizacional, y la acumulación eficiente de recursos para hacer frente a las necesidades futuras como la tarea correspondiente a la GC.*” Los estudios de Becker & Zirpoli (2003), Hult, Ketchen, & Arrfelt (2007), Hult, Ketchen, Cavusgil, & Calantone (2006), Halley et al. (2010), Kiessling, Harvey, & Moeller (2012), y Lin (2014) pueden ser mencionados como estudios que utilizan esta perspectiva teórica.

Varios estudios han explorado los beneficios de la GC dentro del contexto de la CS. Por ejemplo, Hult, Ketchen, Cavusgil, & Calantone (2006) afirmaron empíricamente que dentro de una perspectiva de alineación estrategia-conocimiento, el desempeño de la CS podría mejorarse si el conocimiento se capitaliza junto con elementos de la GC como la accesibilidad del conocimiento, la calidad del conocimiento, el uso del conocimiento, la intensidad del conocimiento, el carácter tácito del conocimiento y la capacidad de aprendizaje.

Wowak et al. (2013) relacionaron el conocimiento y el desempeño de la CS. Sus conclusiones indicaron que la relación entre el conocimiento y el desempeño parecía ser más fuerte cuando el conocimiento era obtenido de múltiples nodos de la CS, mientras el desempeño operacional se examina, y en estudios utilizando muestras (a) de la industria de servicios, (b) de una sola industria, (c) de tanto clientes como proveedores y (d) debajo del nivel empresarial.

Dentro del contexto de logística operativa de la CS, Fugate, Stank, & Mentzer (2009) declararon que cuando el personal de operaciones de logística participa en generar, disseminar, llegar a una interpretación compartida de y responder al conocimiento del mercado cambiante inherente, tres áreas de desempeño de operaciones logísticas mejoran: efectividad, eficacia y diferenciación. Wong & Wong (2011)

Wong y Wong (2011) encontraron empíricamente que la interacción de capacidades de la GC con la implementación de prácticas de la gestión de la CS tiene una influencia en el desempeño de la empresa. Más específicamente, las capacidades tecnológicas y de los procesos de la GC junto con una efectiva gestión de la CS tuvieron un efecto directo e indirecto en el desempeño de la empresa, por ende, afectando también las prácticas de la gestión de la CS. Estos estudios evidencian un llamamiento imperativo para la alineación de la capacidad de la GC interna de la empresa con enfoque en la construcción de relaciones estables y de largo plazo con socios de la CS (Wong & Wong, 2011).

2.2.2 Enfoque de procesos de GC en la CS

Existen distintos enfoques de clasificación para los procesos requeridos para el manejo sistemático de recursos de conocimiento. Teniendo en cuenta los estudios propuestos por Alavi & Leidner (2001), Gold, Malhotra, & Segars (2001), Lawson (2003) y Heisig (2009), las siguientes actividades comprenden cada uno de los cuatro amplios procesos de la GC:

- i. La creación del conocimiento: se refiere al esfuerzo consciente de buscar y definir conocimiento relevante y sus fuentes tanto dentro como fuera de una organización (Lawson, 2003). Este proceso se relaciona con la capacidad organizativa de adquisición y acumulación del conocimiento (Gold et al., 2001) como resultado de procesos cognitivos individuales e interacciones sociales colaborativas (Alavi & Leidner, 2001).
- ii. El almacenamiento del conocimiento: en esta etapa, se desarrollan mecanismos de almacenamiento y recuperación para permitir un acceso al conocimiento efectivo y rápido (Lawson, 2003). Por consiguiente, la consistencia del es imprescindible, así como lo es la sustitución del conocimientos anticuados (Gold et al., 2001).
- iii. La transferencia del conocimiento: es el proceso de transferir conocimiento codificado para satisfacer necesidades específicas de usuarios para la utilización del conocimiento (Lawson, 2003). Este proceso es impulsado por la existencia de canales de transmisión, tanto formales como informales, a varios niveles (Alavi & Leidner, 2001).
- iv. La aplicación del conocimiento: denota el uso del conocimiento en situaciones nuevas donde los usuarios pueden aprender y generar conocimiento nuevo (Lawson, 2003). En consecuencia, en este proceso se persigue la capitalización del conocimiento a través de su aplicación a la actividad productiva.

El enfoque de los procesos de la GC, como sostienen Kant & Singh (2009), podría mejorar la habilidad, rapidez y efectividad en la entrega de productos o servicios mediante la CS, por lo

tanto, influyendo las actividades de la CS. Samuel, Goury, Gunasekaran, & Spalanzani (2011) también reconocen a la GC como un facilitador clave de la gestión de la CS. Por su parte, Manuj & Sahin (2011) afirman que: *“la gestión del conocimiento es una estrategia para reducir la complejidad de la toma de decisiones en el contexto de la cadena de suministro.”* Esto tiene sentido debido a la característica de la información intensiva y el entorno empresarial multicultural de la CS.

Los procesos GC puede ser expresada también como una capacidad de absorción, como Malhotra et al. (2005) afirman: *“la capacidad de absorción se refiere al conjunto de rutinas y procesos organizacionales mediante los cuales las organizaciones adquieren, asimilan, transforman y explotan el conocimiento para producir capacidades organizacionales dinámicas”*. Estas capacidades organizacionales dinámicas señaladas por Malhotra et al. (2005) se refieren a la habilidad de no sólo adquirir y asimilar el conocimiento sino también transformarlo y explotarlo. De acuerdo con Liu et al. (2013b), la adquisición se centra en la habilidad de identificar y adquirir nuevos conocimientos relevantes; la asimilación refleja la habilidad de absorber y comprender el conocimiento recién obtenido; la transformación se enfoca en la habilidad de combinar el conocimiento existente y el conocimiento recién adquirido; y la explotación se refiere a la habilidad de utilizar el conocimiento nuevo para lograr los objetivos de la empresa (Liu et al., 2013b).

2.2.3 Enfoque de facilitadores de la GC en la CS

El éxito de las iniciativas de la GC depende considerablemente de las condiciones básicas en las que se debe implementar (Heisig, 2009). Los facilitadores de la GC se pueden clasificar en cuatro áreas: (1) factores humanos y sociales: cultura, recursos humanos y liderazgo, (2) capacidades organizacionales: proceso y estructura, (3) habilitadores tecnológicos: infraestructura y aplicaciones y (4) control y medición: estrategia, metas e indicadores.

En referencia a los facilitadores tecnológicos para el éxito de los procesos de la GC se tienen: (i) las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y (ii) las aplicaciones y herramientas (Heisig, 2009). Varios estudios analizan el papel de las tecnologías de la información y la comunicación en proyectos relacionados con la GC (Adewole, 2005; Al-Karaghoulí et al., 2013; Angeles, 2012; Chen et al., 2013; Chirumalla, 2013; Corso et al., 2010; Corso & Paolucci, 2001; de Vries & Brijder, 2000; Gambetti & Giovanardi, 2013; Huang & Lin, 2010; Maçada et al., 2013; Nikabadi, 2014; Pedroso & Nakano, 2009; Rao, 2007; Shih et al., 2012; Uusipaavniemi & Juga, 2009; Wynn & Olubanjo, 2012; Zhu et al., 2012). Sin embargo, como señala Nissen (1999): *“un problema fundamental con la gestión del conocimiento es la tecnología de la información empleada para habilitar el trabajo de conocimiento que parece dirigirse a los datos y la información, en contraposición con el conocimiento mismo. En cambio, los sistemas basados en el conocimiento mantienen un enfoque explícito y directo en el conocimiento”*.

Algunos de estos sistemas basados en el conocimiento que también pueden considerarse como aplicaciones o herramientas son: el modelo del conocimiento de selección de proveedores (Akhavan, Elahi, & Jafari, 2014), el sistema multi-agente (Al-Mutawah, Lee, & Cheung, 2009; Ulieru, Norrie, Kremer, & Shen, 2000), herramienta de aprendizaje (Arora, 2012), plataforma de simulación basada en el conocimiento (Chan, Cheung, Lee, & Kwok, 2006) sistema de apoyo a la toma de decisiones (Chandra & Tumanyan, 2007; Liu et al., 2013; Muñoz et al., 2013; Wang et al., 2013), sistema basado en el conocimiento distribuido (Chandra & Kamrani, 2003), sistema de recomendación de expertos basado en la ontología (Chen et al., 2010), sistema de personalización basado en el conocimiento para la integración de la CS (Cheung et al., 2012), sistema de gestión del conocimiento de los proveedores inteligentes (Choy, Tan, & Chan, 2007), sistema de la GC de la red semántica (Douligeris & Tilipakis, 2006), sistema de expertos (Irani, Sharif, Kamal, & Love, 2014), sistema de GC (Kant & Singh, 2009; Nachiappan et al., 2007), herramienta de toma de decisiones (Koh & Tan, 2006), sistema de minería de procesos (Lau, Ho, Zhao, & Chung, 2009; Liao, Chen, & Wu, 2008; Liao, Chen, & Tseng, 2009), sistema de flujo de trabajo (Lopez & Eldridge, 2010), algoritmo genético basado en el conocimiento (Prakash, Chan, Liao, & Deshmukh, 2012), modelo de agente principal (Qi & Chen, 2014), agentes de software (Wu, 2001), modelo semántico de ontología (Ye, Yang, Jiang, & Tong, 2008), modelo basado en casos (Wang et al., 2008) y arquitectura de minería de datos basado en agentes (Warkentin, Sugumaran, & Sainsbury, 2012). Estos estudios listados muestran que el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento ha surgido como un tema de investigación activo.

Junto con el reconocimiento de la dimensión tecnológica en la implementación de iniciativas de la GC dentro del contexto de la CS, la dimensión de procesos de la GC puede ser comprendida como una capacidad de la GC. Esto implica que, tanto a un nivel individual como organizacional, la absorción del conocimiento depende de la capacidad del recipiente de agregar nuevos conocimientos a conocimientos existentes (Grant, 1996).

2.3 La administración de la CS agroindustrial

Las cadenas de suministro agroalimentarias se definen como cadenas donde los productos agrícolas se utilizan como materias primas para producir productos de consumo con mayor valor agregado (van der Vorst, Beulens, & van Beek, 2005). Las características de estas cadenas se describen en la Tabla 2.1.

Para el eslabón de productor primario de la CS agroalimentaria, los procesos de toma de decisiones se pueden dividir en tres etapas. (Ali & Kumar, 2011): planificación de la producción, prácticas de cultivo y gestión y comercialización post-cosecha; la planificación de la producción se relaciona con la planificación de la producción de cultivos basada en las fuerzas del mercado, las pruebas de suelo y las prácticas de rotación de cultivos, mientras que las prácticas de cultivo abarcan decisiones relacionadas con la nutrición de los cultivos y el manejo del riego para maximizar la producción total de cada cultivo. De hecho, un desafío

para el sector agrícola se relaciona con la necesidad de cadenas de suministro de producción de cultivos reactivas y flexibles con alto rendimiento a bajo costo (Borodin, Bourtembourg, Hnaïen, & Labadie, 2016).

Tabla 2.1 Características de la CS agroalimentaria

Característica	Descripción
La producción agrícola depende de las condiciones naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Variaciones en calidad, momento y cantidad de suministro • Planificación para abordar la alta incertidumbre de la oferta • Uso de información de suministro actualizada (pronósticos de suministro, disponibilidad) de proveedores • La variación de calidad entre diferentes productores, entre diferentes lotes de productos y dentro de lotes
Crecimiento estacional	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que tener en cuenta diferentes mercados (para diferentes calidades) • Incertidumbre en el suministro de productos en un corto período de tiempo • La logística tiene que implementar métodos y sistemas específicos para garantizar la disponibilidad durante todo el año • Técnicas para el almacenamiento a largo plazo • Posibilidad de utilizar diferentes variedades con características ligeramente diferentes para el mismo producto agroalimentario
Los productos agroalimentarios son altamente perecederos	<ul style="list-style-type: none"> • Plazos de entrega a pedido muy cortos • Importancia de los medios de transporte y almacenes con temperatura condicionada.
Estructura de red compleja	<ul style="list-style-type: none"> • Muchas pequeñas y medianas empresas • Importancia de la recolección y orquestación regional en los principales puertos logísticos • Importancia de los mecanismos de asignación adecuados para conectar la demanda agregada con la oferta fragmentada (particularmente de materias primas)
Gran volumen de distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega frecuente y distribución cada vez más fina • Importancia de sistemas de control y planificación robustos y en tiempo real. • La distribución de alto volumen causa un gran impacto en el transporte (global)
La importación/exportación es una función importante	<ul style="list-style-type: none"> • Incluyendo inspecciones fitosanitarias y veterinarias • Inspecciones adicionales, que resultan, entre otras cosas, en plazos de entrega más largos

Desde el punto de vista de la cadena de valor agrícola, Higgins et al. (2010) argumentan que los modelos de múltiples agentes brindan la capacidad de acomodar la complejidad de las relaciones entre y dentro de los segmentos de la cadena de valor al representar estos segmentos (o sus actividades) como agentes. Por su parte Tsolakis, Keramydas, Toka, Aidonis, & Iakovou (2014) enlistaron las decisiones para la planificación táctica y operativa en una CS agroalimentaria, incluida la planificación de operaciones de cosecha y operaciones logísticas y la adopción de políticas de gestión de calidad. Con respecto a la clasificación de calidad, van der Vorst, van Kooten, & Luning (2011) afirman que la logística de calidad en la

CS agroalimentaria implica un control adaptativo basado en los requisitos del cliente y la calidad actual de los productos agrícolas.

2.4 La administración de la CS humanitaria

La logística humanitaria es el proceso de planeación, implementación y control eficiente y económico del flujo y resguardo de bienes y materiales, así como la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el propósito de cumplir los requerimientos del beneficiario final (Apta, 2009). En otras palabras la logística humanitaria es una rama especial de la logística que administra una CS de respuesta de materiales y servicios críticos que además tiene diversos retos, tales como demanda variable, incertidumbre de suministros, ventana crítica de tiempo de cara a vulnerabilidades de la infraestructura así como gran variedad y tamaño de las operaciones. Para mantener e incrementar la efectividad de esta logística un hecho importante es recordar que los tres principios del “espacio humanitario” (humanidad, neutralidad, imparcialidad) deben estar presentes durante las fases estratégica, táctica y operacional de las operaciones humanitarias.

La logística humanitaria tiene un amplio rango de operaciones que incluyen la distribución de suplementos médicos para la prevención de enfermedades, suministros de alimentos para combatir el hambre y suministros críticos después de un desastre (Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove, Pérez, & Wachtendorf, 2012). Estas metas humanitarias tienen un alto nivel de urgencia tanto para las operaciones, las redes sociales que organizan los esfuerzos y el estado de los sistemas de apoyo, además de que se presentan en variados ambientes operacionales específicos de cada zona de desastre; por lo que cada CS humanitaria que surge como respuesta a cada desastre es única.

La logística humanitaria abarca una amplia gama de operaciones que incluyen la distribución de suministros médicos para la prevención de enfermedades de rutina, suministros de alimentos para combatir el hambre y suministros críticos después de un desastre (Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove, Pérez, & Wachtendorf, 2012).

El objetivo de la respuesta a desastres en la CS humanitaria es proporcionar rápidamente socorro (alimentos de emergencia, agua, medicamentos, refugio y suministros) a las zonas afectadas por emergencias a gran escala, a fin de minimizar el sufrimiento humano y la muerte (Balcik & Beamon, 2008). Los eslabones de la CS humanitaria se describen a continuación (Figura 2.5). La evaluación de campo y planeación ocurre en el periodo más temprano inmediato posterior al desastre natural. Se evalúa el radio de vulnerabilidad y la demanda de alivio en cada región (Nadi & Edrisi, 2017). La evaluación en campo deberá permitir entender el impacto del desastre sobre el medio ambiente, sobre la población y cómo deberán proveerse los servicios logísticos (Das, 2016). La planeación es un proceso de toma de decisiones que involucra escoger entre diferentes alternativas (Das, 2016). Una vez que se evaluaron el

alcance del desastre natural y las necesidades en cada región se deben evaluar las diferentes alternativas de solución y elegir la mejor.

Por otro lado, la planeación también se encuentra en la etapa de preparación pues involucra la creación de diversos planes y estrategias antes de que el desastre ocurra. Se planea a largo plazo de forma tal que la organización se encuentre preparada para responder ante una emergencia. Es importante identificar fuerzas y debilidades de cada una de las actividades dentro de las operaciones de alivio basándose en el aprendizaje de experiencias pasadas con el objetivo de salvar la mayor cantidad posible de vidas humanas cuando ocurra un desastre.

La función de abastecimiento debe proteger y mitigar los riesgos, entender el mercado, establecer relaciones con los proveedores, satisfacer las necesidades de manera oportuna y monitorear constantemente el desempeño para mejorar la provisión del servicio, de ahí la necesidad de que una organización tenga políticas bien definidas y bien entendidas (Das, 2016). Adquirir los bienes necesarios para cubrir las necesidades de respuesta a un desastre natural es un punto focal en la CS humanitaria por lo que debe ser administrado efectivamente. Transforma las requisiciones concentradas en la evaluación de campo en productos o servicios para cubrir la demanda de alivio de las regiones afectadas por el desastre.

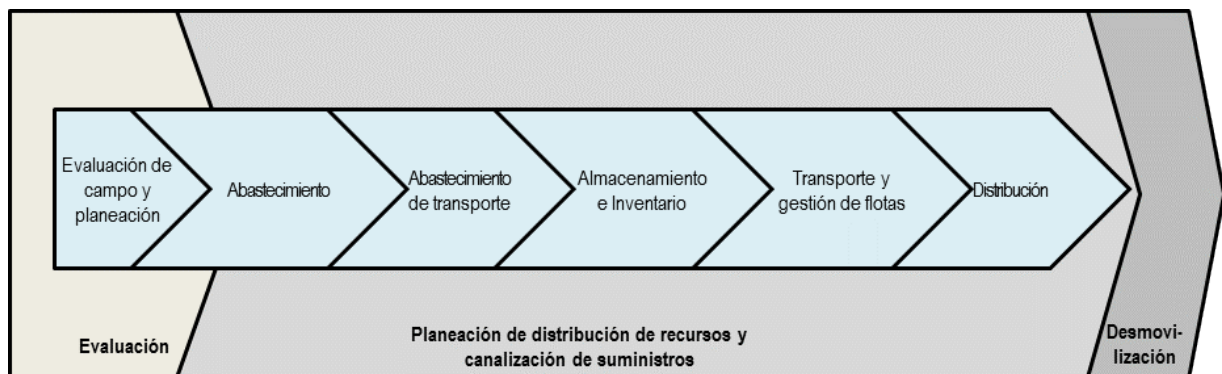


Figura 2.5 Eslabones de la CS humanitaria

Fuente: (Das, 2016)

El abastecimiento de transporte es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta, se refiere a identificar proveedores de servicios de transporte y determinar cómo será la administración de las flotas. Es decir si será necesario, con base en la demanda estimada en el primer eslabón, ya sea arrendar, subcontratar o administrar la flota propiedad de la organización (Das, 2016).

La función de almacenamiento e inventario se refiere a la gestión de los puntos entre las fuentes de suministro y los beneficiarios, además de que son nodos importantes en los flujos de información. Se refiere también a mantener un estricto control de inventarios y establecer políticas para excesos de materiales, donaciones no solicitadas y bienes no prioritarios.

La función de transporte tiene que ver con las actividades involucradas en el traslado de suministros desde el punto de origen a los clientes internos o beneficiarios; mientras que la gestión de flotas es la función que supervisa, coordina y facilita varias actividades de transporte y actividades relacionadas con el transporte (Das, 2016) de manera tal que se puedan minimizar costos y maximizar la utilización de los vehículos utilizados para mover los suministros.

La distribución dentro del contexto de la logística humanitaria puede verse desde tres perspectivas (Das, 2016):

1. Movimiento de bienes del vendedor a la organización humanitaria.
2. Movimiento de los bienes de un punto a otro dentro de la organización humanitaria.
3. El punto en el que los bienes y servicios son entregados a los beneficiarios finales o a una agencia socia.

Es en este eslabón se presenta el mayor riesgo de pérdida e inseguridad, la comunicación es esporádica, el monitoreo es más difícil y la organización generalmente tiene menos control directo.

El diseño y operación de la CS humanitaria juegan un papel significativo en la consecución de una respuesta efectiva y eficiente (Balcik & Beamon, 2008), lo cual se traduce en la mejora de los esfuerzos de respuesta ante un desastre natural, salvaguardando de la mejor manera posible el bienestar de las personas afectadas, de forma tal que se preserven vidas y la integridad del ser. Un desastre es un evento no-rutinario que excede la capacidad del área afectada para responder de tal manera que se pueda salvar vidas; preservar la propiedad; y mantener la estabilidad social, ecológica, económica y política de la región afectada (Pearce, 2000). Las pérdidas para la humanidad generadas por los desastres naturales son sin duda masivas- en promedio, globalmente más de 100,000 personas perdieron la vida y 246 millones se vieron afectadas por los desastres naturales durante el periodo 2002-2011 (Sahay, Gupta, & Menon, 2015).

El flujo del proceso en la logística humanitaria puede dividirse en tres etapas a lo largo del tiempo: esfuerzos de “preparación antes de que ocurra el desastre, “respuesta” inmediatamente después de que sucede el desastre y “recuperación” en el periodo posterior al desastre. El primer periodo es estratégico pues el desastre no ha ocurrido pero el pre posicionamiento de bienes y preparaciones de la infraestructura se llevan a cabo antes del desastre. El pre posicionamiento de activos puede incluir la expansión de almacenes, instalaciones médicas y refugios temporales, mientras que la preparación de infraestructura puede incluir el aprovisionamiento de pistas de aterrizaje y espacios para rampas en los aeródromos.

De los desastres naturales, los sismos son los menos predecibles, además el intervalo entre la amenaza del sismo y su ocurrencia es el menor de entre los desastres mayores. Es por esto

que los sismos encabezan la escala de mortalidad inmediata y destrucción estructural. Estadísticas publicadas después del terremoto de Kobe muestran que el 71% de las víctimas fallecieron durante los 14 minutos del temblor (Guha-Sapir, Hargitt, & Hoyois, 2004).

De acuerdo al Servicio Sismológico Nacional un sismo es un rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra. Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno. México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: La placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe. De acuerdo con información presentada por el Servicio Sismológico Nacional el número total de sismos en el país incrementa año con año, en el 2017 se registraron 26,123 sismos.

2.5 Inteligencia artificial como herramienta en la toma de decisiones

Una decisión es la elección que existe entre varias alternativas posibles, teniendo en cuenta la limitación de recursos y el objetivo de conseguir algún resultado deseado (Lennox, 1996). La importancia de la información en la toma de decisiones es evidente ya que la decisión es el proceso de transformación de la información en acción (Sterman, 2002). Por lo tanto el análisis de decisiones consiste en un conjunto de técnicas de procesamiento orientadas a reducir el margen de error en las decisiones adoptadas en el marco de la administración de negocios y gestión de conocimiento (Sterman, 2002).

La inteligencia artificial se ha propuesto como una herramienta útil para el apoyo a la toma de decisiones (Min, 2010). La inteligencia artificial es la parte de la ciencia que se ocupa del diseño de sistemas de computación inteligentes, es decir, sistemas que exhiben las características que asociamos a la inteligencia en el comportamiento humano que se refiere a la comprensión del lenguaje, el aprendizaje, el razonamiento, y la resolución de problemas (Barr, Feigenbaum, & Cohen, 1981).

La inteligencia artificial es conocida por su capacidad de “pensar”, “actuar”, “pensar racionalmente” y “actuar racionalmente” como humanos; por lo tanto, con respecto a estas características distintivas, la inteligencia artificial puede clasificarse en sub-campos (Min, 2010): 1) redes neuronales artificiales y la teoría de conjuntos aproximados (“pensando humanamente”); 2) modelación del proceso de aprendizaje (*machine learning*), sistemas expertos, y algoritmos genéticos (“actuar humanamente”); 3) lógica difusa (“pensamiento racional”); y 4) los sistemas basados en agentes (“actuar racionalmente”).

2.5.1 *Lógica difusa*

Es un método de análisis desarrollado a propósito para incorporar la incertidumbre en un modelo de decisión. En esencia, la lógica difusa permite considerar el razonamiento que es aproximado y no preciso (Zadeh, 1996).

Mientras la motivación original fue ayudar a manejar aspectos imprecisos del mundo real, la práctica temprana de la lógica difusa permitió el desarrollo de aplicaciones prácticas. La lógica difusa ayuda a conceptualizar la desfusificación en el sistema en un parámetro cuantificable nítido (Suganthi, Iniyan, & Samuel, 2015). La lógica difusa y la probabilidad son formas diferentes de expresar la incertidumbre. La teoría de conjuntos difusa utilizó el concepto de pertenencia a conjuntos difusos mientras que la teoría de probabilidades usó el concepto de probabilidad subjetiva; los diversos tipos de funciones de pertenencia que se utilizan normalmente en la lógica difusa son ' Δ ' triangular, ' Π ' trapezoidal, función ' L ', función ' T ', función ' S ', conjunto borroso gaussiano (Suganthi et al., 2015).

Algunas de las características esenciales de la lógica difusa son (Zadeh, 1996):

- En la lógica difusa, el razonamiento exacto es visto como un caso límite de razonamiento aproximado.
- En la lógica, todo es una cuestión de grado.
- Cualquier sistema lógico puede ser fusificado.
- En la lógica difusa, el conocimiento se interpreta como una colección de restricciones flexibles o, equivalentemente, una colección de variables difusas.
- La inferencia es considerada como un proceso de propagación de restricciones flexibles.

La lógica difusa difiere de los sistemas de lógica tradicional en los siguientes aseveraciones (Zadeh, 1996):

- Verdad: En los sistemas de lógica bivalente, la verdad sólo puede tener dos valores: verdadero o falso. En la lógica difusa, el valor de verdad de una proposición puede ser un subconjunto borroso de cualquier conjunto parcialmente ordenado, pero por lo general se supone que es un subconjunto borroso del intervalo $[0, 1]$ o, más simplemente, un punto en ese intervalo.
- Predicados: En los sistemas bivalentes, los predicados son precisos, por ejemplo, mortal, incluso, mayor que. En la lógica difusa, los predicados son borrosos, por ejemplo, alto, los malos, pronto, rápido, mucho más grande que. Cabe señalar que la mayoría de los predicados en un lenguaje natural son más difusos que precisos.
- Modificadores del predicado: En los sistemas clásicos, el único modificador utilizado en el predicado es la negación, no. En la lógica difusa, hay una variedad de modificadores de predicados que actúan como instrumentos de cobertura, por ejemplo,

muy, más o menos, bastante, más bien. Estos modificadores de predicado desempeñan un papel esencial en la generación de los valores de una variable lingüística, por ejemplo, muy joven, no muy joven, más o menos jóvenes, etc.

- **Cuantificadores:** En los sistemas de lógica clásica sólo hay dos cuantificadores: universal y existencial. La lógica difusa admite, además, una amplia variedad de cuantificadores difusos como por ejemplo: varios, por lo general, la mayoría, casi siempre, frecuentemente, etc. En la lógica difusa, un cuantificador difuso se interpreta como un número borroso o una parte difusa.
- **Probabilidades:** En los sistemas de lógica clásica, probabilidad numérica es un valor o intervalo. En la lógica difusa, se tiene la opción adicional de emplear lingüística o, más en general, las probabilidades difusas, como por ejemplo: probable, poco probable, muy probable, alrededor de 0,8 de alto, etc.
- **Posibilidades:** A diferencia de la lógica clásica, el concepto de posibilidad en la lógica difusa es gradual en lugar de bivalente. Además, como en el caso de las probabilidades, las posibilidades pueden ser tratadas como variables lingüísticas con valores tales como: posible, muy posible, casi imposible, etc.

2.5.2 Agentes y sistemas multi-agente

2.5.2.1 Modelo del agente actor

Las características sociales de cada individuo afectan el proceso de toma de decisiones que se lleva a cabo en un sistema. Tales decisiones resultan en acciones ejecutadas por un actor de la organización. Un actor es una entidad social, un individuo o grupo de individuos Labarthe, Tranvouez, Ferrarini, Espinasse, & Montreuil (2003) propone modelar sistemas dinámicos complejos como un conjunto de actores. En el modelo del agente actor, un actor en un sistema puede representar una entidad capaz de tomar decisiones (actividad deliberativa) o entidad operativa (actividad operativa). En un sistema real, cada tipo de actividad se asocia a un nivel particular de granularidad y se representa en el modelo actor (centro de decisión, recursos físicos). El agente actor se basa en un modelo simplificado de la realidad que permite el estudio del comportamiento a través del par decisión-acción. La construcción de un modelo requiere identificar las entidades en el sistema real y las actividades asociadas. Las mismas actividades se agrupan en uno o varios agentes decisión o de simulación. El agente actor está compuesto por agentes (deliberativos o reactivos) que modelan las diferentes actividades de un actor. Por otro lado, el agente decisión representa las actividades de toma de decisiones del centro de decisión de un actor del sistema y transmite las decisiones al agente simulación. El Agente simulación reproduce el comportamiento de una actividad operacional y transmite señales al centro de decisión para informar los resultados de las actividades. La Figura 2.6 ilustra la dualidad en el modelo del agente actor y muestra el comportamiento que adopta cada agente.

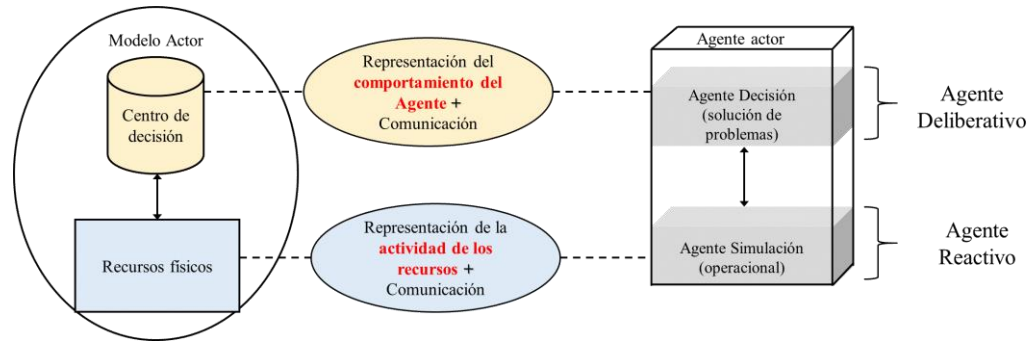


Figura 2.6 Modelo del agente actor
Fuente: (Labarthe et al., 2003)

La CS está compuesta por un conjunto de actores que tienen roles y responsabilidades adicionales definidas a partir de las competencias y actividades que pueden realizar. La Figura 2.7 muestra el modelado de los actores de la CS.

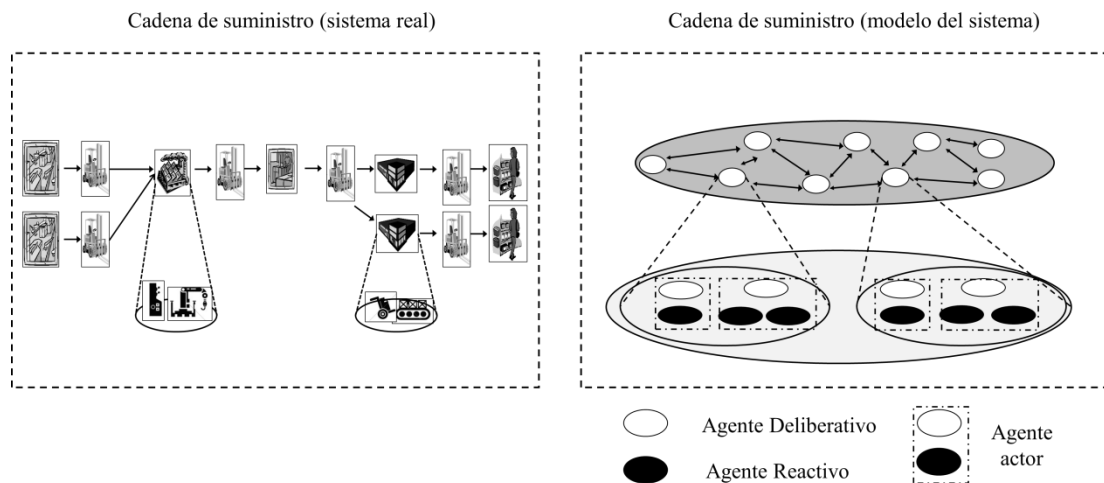


Figura 2.7 Modelo del agente actor aplicado a la CS
Fuente: (Labarthe et al., 2003)

La aplicación del modelo del agente actor a la CS resulta en una perspectiva de representación basado en un punto de vista organizacional permite exponer relaciones e interacciones entre Los actores de la CS en función a los niveles de descomposición y distribución de las responsabilidades.

2.5.2.2 Características de los agentes inteligentes

Un agente inteligente es una entidad software que, basándose en su propio conocimiento, realiza un conjunto de operaciones destinadas a satisfacer las necesidades de un usuario o de otro programa, bien por iniciativa propia o porque alguno de éstos se lo requiere (Hípola &

Vargas, 1999). El concepto de agentes inteligentes es un tema reciente que desde 1980 se ha aplicado ampliamente (Ming, Fu, Zhu, & Xin, 2007).

De acuerdo con Tolosa & Bordignon (1999), los agentes inteligentes tienen las siguientes características:

- **Autonomía:** Capacidad de actuar sin la intervención directa de una persona o de otro agente. Un agente debe poder controlar sus propias acciones y estado interno. Una vez que el usuario activa el agente indicando algún objetivo de alto nivel, éste actúa independientemente, seleccionando estrategias y monitoreando el progreso en busca de la meta. Si falla con una estrategia, usará otra, pero sin intervención humana o con la mínima indispensable.
- **Habilidad Social:** Un agente debe ser comunicativo. Debe tener habilidad para interactuar con otros agentes o incluso con alguna persona, para solicitar información o bien para exponer los resultados que se obtienen de la ejecución de las tareas programadas. La naturaleza de la comunicación dependerá del tipo de agente con quien se comunique (humanos o no), en ambos casos se deberá establecer un protocolo común de intercambio de información entre ambas partes. Los agentes deben poseer algún tipo de interface para comunicarse con sus usuarios.
- **Reactividad:** Se refiere al hecho de que un agente debe poder pensar el estado del ambiente dentro del cual se encuentra inmerso y -en función de esto- actuar, respondiendo de manera adecuada a cambios producidos en el mismo.
- **Orientación por objetivos:** Un agente no sólo debe actuar por cambios detectados en el medioambiente, sino que – además – debe “trabajar” en función de los objetivos para los cual fue diseñado y las tareas que le fueron delegadas en cada momento. Un agente busca permanentemente satisfacer su agenda interna. En las aplicaciones convencionales, cuando un usuario ejecuta un comando, se activa un proceso que se ejecuta por determinado tiempo, algunos solicitan datos al usuario, retornan resultados y así sucesivamente.
- **Continuidad temporal:** Un agente es un proceso temporalmente continuo. A diferencia de un programa convencional del cual se conoce su inicio y fin, un agente debe ejecutarse hasta que se haya alcanzado con el conjunto de objetivos solicitados, o bien, mientras su ciclo perdure y su usuario no desee detenerlo.
- **Movilidad:** Es la capacidad de un agente de “viajar” por las redes de computadoras, de nodo a nodo, en busca de los recursos que le permitan cumplir con su agenda. El término “viajar” se refiere a que en un determinado instante de tiempo el agente detiene su ejecución, almacena su estado interno y se dirige a otro sitio dentro de una red de computadoras (tanto el código del agente como su estado) para luego continuar con su ejecución en la nueva ubicación.

La característica distintiva es que la interacción entre los agentes que utilizan un lenguaje de comunicación, es que el agente permite a los socios de la CS ser capaces de negociar y coordinar de forma automatizada entre sí de manera más eficaz en la gestión dinámica de la CS (Tian & Tianfield, 2006).

En términos generales, un agente posee habilidades y conocimientos para interactuar con el entorno, incluidas las aplicaciones de cooperación, comunicación, comando y control (Bui & Lee, 1999). Un sistema de múltiples agentes se define por (Turban, Aronson, & Liang, 2005): monitoreo de datos, recopilación de datos, modelado, administración de dominios y aprendizaje de preferencias. De hecho, los sistemas de soporte de decisiones basados en agentes permiten actividades de toma de decisiones tales como representación del conocimiento, reutilización del conocimiento, razonamiento y técnicas de inferencia (Jain, Lim, & Nguyen, 2009). Estas propiedades tienen implicaciones en la adopción de soluciones basadas en agentes del entorno industrial, factibilidad, robustez, reorganización, respuesta efectiva a interrupciones externas y re-configurabilidad. Sin embargo, las barreras de adopción comprenden el costo, las garantías para el desempeño operativo, la escalabilidad y la definición de estándares (Mařík & McFarlane, 2005). Otros temas relacionados con las barreras de los sistemas de soporte de decisiones basados en agentes comprenden (Hilletoft & Lättilä, 2012) la dificultad para acceder a los datos de los socios en la CS, el largo tiempo de desarrollo y validación, el largo tiempo de aprendizaje y la dificultad para desarrollar reglas de agente que generen el comportamiento deseado. En consecuencia, la próxima generación de agentes de decisión en la gestión de la CS debe considerar estas barreras para desarrollar agentes integrados en sistemas que serán distribuidos, dinámicos, inteligentes, integrados, receptivos, reactivos, cooperativos, interactivos, reconfigurables y adaptables (Mattia, 2012).

2.5.2.3 Sistemas multi-agente en la CS

Los enfoques de modelización tradicionales tratan a los empleados, proyectos, productos, clientes y socios de una empresa como cantidades promedio agregadas o como entidades o recursos pasivos en un proceso. Mediante la modelación basada en agentes es posible plantear distintos escenarios con entidades activas y ver qué ocurre en una problemática, esto es, estudiar los posibles estados del sistema objeto de estudio. Los sistemas basados en agentes son una técnica propia de inteligencia artificial con la capacidad de emular entidades, procesos y flujos inciertos en ambientes distribuidos a lo largo de CS en donde cada entidad toma una decisión local basada en su conocimiento disponible que conduce a una meta global.

Un modelo basado en agentes es un modelo que contiene agentes heterogéneos (empresas virtuales) que actúan en un entorno virtual (Li & Chan, 2013). En el modelo, la producción de una empresa virtual puede estar respaldada por varios subcomponentes que son producidos por otras empresas virtuales. Las empresas virtuales realizan sus trabajos con sus conocimientos. Cada empresa virtual es simulada por un agente en el modelo. La simulación multi-agente es

la ejecución de un modelo multi-agente (Tian & Tianfield, 2006). En donde después de caracterizar el sistema de estudio se procede a programar cada agente inteligente en una plataforma de software especializado con el fin de simular el sistema de estudio. Algunas de las principales plataformas para construir modelos de agentes inteligentes se basan en el lenguaje de programación Java, como la plataforma *Java Agent Development Framework* (JADE), *Zeus*, *Agent Builder*, *Cougaar*, *Brahms*, *Jason*, *NetLogo* y *AnyLogic*®.

Dado que la complejidad de las cadenas de suministro, la tecnología de agentes inteligentes se ha utilizado en muchas obras importantes para estudiar la gestión de las cadenas de suministro (Li & Chan, 2013). van der Zee & van der Vorst (2005) propuso un marco de modelado para la mejora de la toma de decisiones basado en agentes que modelan a los actores de la CS como objetos autónomos asignados con inteligencia para la toma de decisiones, trabajos que representan las actividades de la CS y tipos de flujos (bienes, información, recursos y definiciones de trabajo).

Los sistemas basados en agentes se caracterizan por comprender varios agentes virtuales que son en mayor o menor grado autónomos, heterogéneos e independientes, que muestran cada uno sus propias metas y objetivos (Torsun, 1995). La técnica de sistemas basados en agentes, se ha aplicado a la planificación y previsión de la demanda, gestión de relaciones con clientes, negociación, preparación de pedidos, diseño de red, entre otros; los algoritmos genéticos se han aplicado al diseño de red; y los sistemas expertos, a la planificación de inventario, decisiones de fabricar o comprar, y selección de proveedores (Pino et al., 2010).

En la revisión realizada por Méndez, Cerdá, Grossmann, Harjunkoski, & Fahl (2006) Con respecto a los métodos de optimización para la programación de la producción a corto plazo, los autores declararon que dentro del campo de la inteligencia artificial, los problemas de programación han sido resueltos por un conjunto de agentes individuales que pueden trabajar en paralelo y su coordinación puede brindar una forma más efectiva de encontrar una solución óptima; se espera que los agentes interactúen juntos para lograr los objetivos del sistema general.

De acuerdo con Phanden, Jain, & Verma (2011), la técnica de modelado basada en agentes es el enfoque distribuido más prometedor para abordar la integración de la planificación de procesos y la adaptación de la programación de la producción. Por su parte, Barbati, Bruno, & Genovese (2012) afirman que una cantidad relevante de aplicaciones de modelos basados en agentes están dedicadas a problemas de planificación de la CS. En ese sentido, la adopción de soluciones basadas en agentes industriales se ha centrado en las siguientes áreas (Mařík & McFarlane, 2005): (i) soluciones distribuidas para problemas de control de fabricación en tiempo real; (ii) soluciones distribuidas para problemas complejos de gestión de operaciones tales como planificación, programación, inicio de ejecución y monitoreo; y (iii) soluciones distribuidas para coordinar cadenas de suministro que integrarán fabricación, redes de ventas, proveedores, clientes y coordinadores externos. Las áreas de aplicación de los diseños de

sistemas de múltiples agentes han evolucionado recientemente desde procesos intra-empresariales, como la programación de trabajos y la planificación y coordinación de la producción, hasta complicados procedimientos de decisión que involucran la gestión de empresas independientes pero socios de gestión de la CS (Lee & Kim, 2008). Dentro del contexto de fabricación, un agente es una entidad inteligente capaz de actuar y tomar decisiones para llevar a cabo tareas, como la planificación distribuida de la producción, la programación y el control de la ejecución (Zhang & Xie, 2007). En la programación de la producción multi-agente, los agentes manipulan las variables de recursos y de orden bajo su propia autoridad (Monostori, Vánca, & Kumara, 2006).

2.6 Conclusión

La actual competencia en los mercados mundiales, la introducción de productos con ciclos de vida más cortos y las crecientes expectativas de los clientes han obligado a las empresas a invertir y centrar su atención en su CS. Esto, junto con los continuos avances en las comunicaciones y tecnologías de transporte ha motivado la continua evolución de la CS y de las técnicas para gestionarla. En este capítulo se explicaron los conceptos técnicos-teóricos utilizados en este trabajo de investigación, incluyendo las dimensiones de la GC en la CS, las características de la CS agroindustrial con énfasis en la planeación de la producción y las particularidades de la CS humanitaria. Además se presenta una revisión de las técnicas de inteligencia artificial, utilizadas para el desarrollo y validación del sistema de GC.

Capítulo 3. Estado del arte

Resumen

En este capítulo se presenta la revisión de la literatura que reúne información de artículos científicos en el área de conocimiento. La primera Sección comprende estudios referentes al papel de la GC en la administración de la CS. La segunda Sección analiza la aplicación del enfoque de modelado de agentes inteligentes en la CS. La tercera Sección presenta una revisión del problema de ubicación de instalaciones en la CS humanitaria.

3.1 El papel de la GC en la administración de la CS

3.1.1 Descripción de la metodología para la revisión de literatura sistemática

El propósito de la revisión de literatura sistemática fue examinar el estado de la investigación sobre la GC en la administración de la CS desde tres puntos de vista: 1) el enfoque metodológico, 2) el área de la administración de la CS y 3) los procesos de la GC. La metodología para lograr este objetivo se describe a continuación.

El periodo de búsqueda de la revisión de literatura fue de enero de 2000 a diciembre de 2016, incluyendo los artículos aceptados disponibles en línea en revistas científicas en idioma inglés. La búsqueda inicial se realizó en la base de datos de *Web of Science* utilizando la combinación de palabras clave “*supply chain*” y “*knowledge management*” en *Topic* (título, resumen, palabras clave), la búsqueda se limitó en el campo *Document type* “*article*” and “*review*” resultando en una muestra inicial de 184 trabajos. El contenido de los resúmenes se analizó y se seleccionaron los trabajos que se referían a la gestión del conocimiento en la CS. En seguida, los artículos seleccionados en el primer paso se contrastaron con los resultados de los mismos criterios de búsqueda y análisis de contenido de los resúmenes en la base de datos SCOPUS para refinar el estudio. Finalmente, la muestra dio como resultado 298 artículos.

Una vez seleccionados los artículos para su revisión, el análisis de los datos consistió en una perspectiva de análisis de contenido cualitativo siguiendo las directrices sugeridas por (Mayring, 2015). Después de seleccionar el esquema de clasificación, se lleva a cabo la etapa de análisis de datos dando como resultado categorización de frecuencias e interpretación.

3.1.2 Metodología de investigación empleadas por los autores

La revisión de la literatura intenta analizar 298 artículos publicados entre enero de 2000 y diciembre de 2016, como se ilustra en la Figura 3.1 Se observa una tendencia de crecimiento con una variación entre 2010 y 2016, lo que demuestra un mayor interés por la GC en el contexto de la CS.

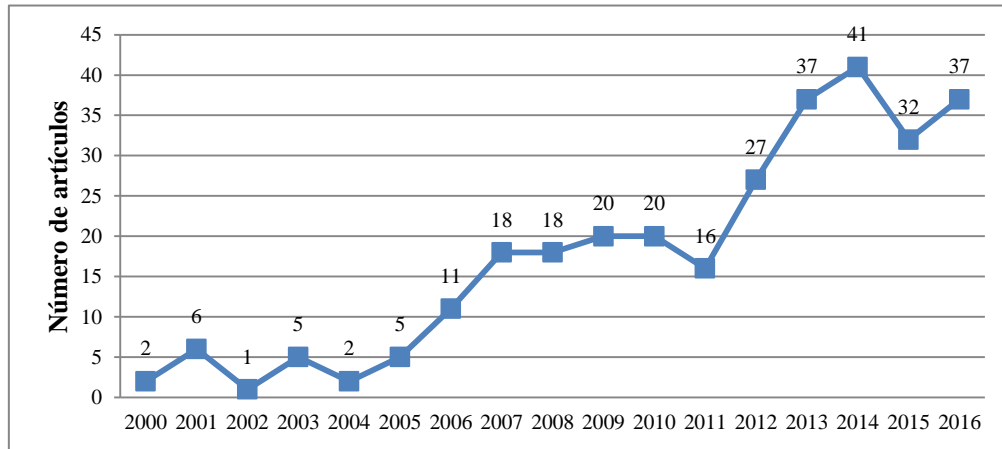


Figura 3.1 Distribución de los artículos revisados por año durante el período del estudio

En referencia a enfoque metodológico utilizado por los autores, los métodos de investigación identificados para este estudio fueron: estudio de caso, modelo conceptual de encuesta, entrevistas, encuesta y entrevista, simulación y modelo matemático. Un estudio de caso teórico o empírico proporciona una oportunidad para explorar un tema particular dentro del alcance del estudio. Una encuesta, directa o por internet, consiste en seleccionar una muestra imparcial y representativa de sujetos tomados de un grupo que el investigador desea estudiar. Un modelo conceptual abarca constructos teóricos con el objetivo de entender el tópic que el modelo representa. La simulación es una técnica utilizada para construir un modelo de un fenómeno con el fin de analizar su comportamiento. Las entrevistas pueden ser cuestionarios estructurados o semiestructurados. El enfoque del estudio de caso obtuvo el puntaje más alto entre todas las metodologías utilizadas en la investigación de la GC en cadenas de suministro. En la Figura 3.2 se presenta el desglose de los artículos revisados por metodología de investigación.

El análisis basado en la encuesta se ubica en segundo lugar con respecto a los métodos de investigación empleados en la disciplina de la GC en el ámbito de la CS. Destacamos que la metodología de la investigación de la encuesta es notada por investigadores con los siguientes objetivos.

- i. La estrategia de la CS. Examinar los efectos de la estrategia y el conocimiento costo-innovación (Craighead et al., 2009), la cultura de competitividad y el desarrollo del

conocimiento (Hult et al., 2007) en la CS sobre el rendimiento de la empresa; describir la influencia de las estrategias de la CS, las estrategias de negocio y estrategias de la GC respecto al intercambio del conocimiento (Nikabadi & Zamanloo, 2012); validar un marco conceptual para la GC en la CS (Samuel et al., 2011).

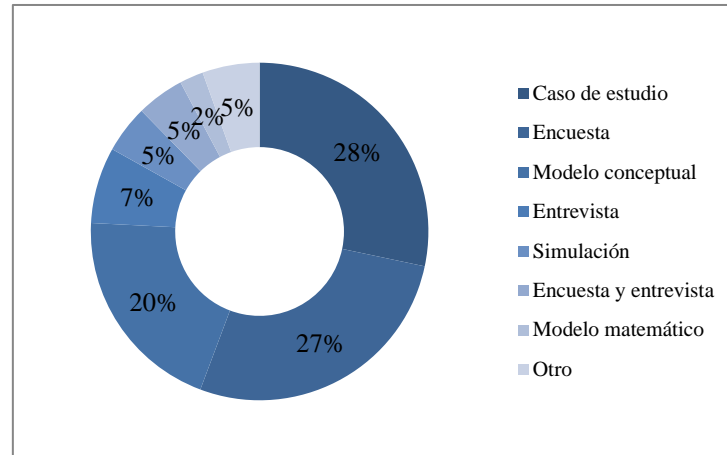


Figura 3.2 Desglose de los artículos revisados por metodología de investigación

- ii. La relación en la CS. Investigar la cultura organizacional y el desempeño de la CS (Cadden, Marshall, & Cao, 2013); los efectos de la confianza y el poder sobre el intercambio del conocimiento en cadenas de suministro colaborativas (Cai, Goh, de Souza, & Li, 2013); examinar los distintos desafíos que las finanzas de la CS enfrentan (More & Basu, 2013); probar un marco conceptual con respecto al desempeño de la calidad diádica y su conexión con la mejora de la relación comprador-proveedor.
- iii. La asociación en la CS. Explorar el papel del clima de innovación interna y las relaciones estratégicas con socios de la CS (Oke, Prajogo, & Jayaram, 2013); analizar la adquisición del conocimiento en alianzas universidad-industria (Sherwood & Covin, 2008); evaluar el efecto de las prácticas de la gestión de la CS y las capacidades de la GC en el rendimiento de la empresa (Wong & Wong, 2011).
- iv. Integración de la CS. Explorar el efecto de la infraestructura de las TI y la integración de procesos de la CS sobre los factores de éxito crítico de RFID, la eficiencia operativa y la creación del conocimiento del mercado (Angeles, 2012); el efecto de la confianza, el intercambio del conocimiento y la integración de las TI en el desempeño de la CS médica (Chen, Preston, & Xia, 2013); el impacto de mecanismos de socialización y de las capacidades de innovación tecnológica en la integración de la CS (Li, Tarafdar, & Rao, 2012); los efectos de la integración de la CS y la orientación de mercado en el desempeño de la empresa (Liu, Ke, Wei, & Hua, 2013); la mejora en el rendimiento operativo a través del intercambio del conocimiento con los clientes (Nagati &

- Rebolledo, 2013); el vínculo entre el intercambio del conocimiento innovador, la integración de la cadena SC y el desempeño de la empresa (Singh & Power, 2013); los efectos de la integración de la CS sobre la satisfacción del cliente y el desempeño financiero (Yu, Jacobs, Salisbury, & Enns, 2013); y el impacto de la dependencia y la confianza en la integración de la CS (Zhang & Huo, 2013).
- v. La colaboración en la CS. Investigar el papel de la coordinación inter-funcional en el vínculo entre las normas organizacionales y el desempeño de la gestión de la CS (Eng, 2006); examinar el impacto de aplicaciones del comercio electrónico en la colaboración de la CS (Wiengarten, Humphreys, McKittrick, & Fynes, 2013); analizar las capacidades que mejoran los resultados de la colaboración episódica de la CS (Zacharia, Nix, & Lusch, 2011); probar un marco conceptual sobre el efecto del intercambio del conocimiento en el desarrollo de las capacidades de la CS y el rendimiento de CS (Yang, 2012b).
 - vi. El desarrollo de productos. Investigar los efectos de la transferencia del conocimiento y patrones de adopción sobre las capacidades de innovación de las empresas (Curso & Paolucci, 2001); investigar las funcionalidades que mejor se ajustan a las necesidades de los consumidores de productos de seguro de vida mediante la extracción de patrones específicos del conocimiento y normas de los consumidores y su cadena de demanda (Liao et al., 2009); estudiar el papel de las fuentes del conocimiento en red que influyen la innovación de productos (Machikita & Ueki, 2012).
 - vii. Abastecimiento y gestión de proveedores. Examinar el impacto de la transferencia y complejidad de conocimientos sobre la flexibilidad de la CS (Blome et al., 2014); identificar los factores clave para mejorar el desempeño empresarial (Huang, Stewart, & Chen, 2010); examinar los elementos de la capacidad de gestión de las relaciones con proveedores (Lintukangas, 2011).
 - viii. Las relaciones intra e inter-firmas. Estudiar el impacto de la confianza sobre el intercambio inter-organizacional del conocimiento (Chen, Lin, & Yen, 2014); analizar la influencia de las condiciones globales ambientales e inter-organizacionales sobre las capacidades de aprendizaje tanto para los proveedores como para los compradores (Cheung, Myers, & Mentzer, 2010); examinar lo ambidiestro en relaciones inter-organizacionales de largo plazo (Im & Rai, 2008); analizar la comunicación inter-organizacional en los resultados de desempeño en relaciones comprador-proveedor colaborativas (Paulraj, Lado, & Chen, 2008); examinar las relaciones inter-organizacionales y prácticas de gestión del conocimiento sobre la mejora de la adopción del comercio colaborativo (Chong, Chan, Goh, & Tiwari, 2013).
 - ix. La gestión de logística. Examinar el impacto combinado de logísticas de la GC y alcance de manufactura global en la habilidad de las firmas de diferenciar basado en la logística (Fugate, Autry, Davis-Sramek, & Germain, 2012); examinar el intercambio del conocimiento entre los clientes inter-empresariales en servicios de logística (Rollins, Pekkarinen, & Mehtälä, 2011).

En tercer lugar se tienen los modelos conceptuales como una metodología de investigación seleccionada por los autores para contribuir al campo de la GC, en lugar de modelos matemáticos para comprobar las teorías.

3.1.3 Principales áreas de la gestión de la CS

Las áreas de la gestión de la CS más discutidas en el conjunto de artículos revisados son: 1) integración de la CS, 2) relaciones intra e inter-firmas, 3) estrategia de la CS, 4) desarrollo de productos y 5) abastecimiento y gestión de proveedores. La categorización por área de la gestión de la CS se ilustra en la Figura 3.3, especificando el número de estudios en cada categoría. Para exponer las principales áreas de la gestión de la CS, a continuación se describen los principales hallazgos.

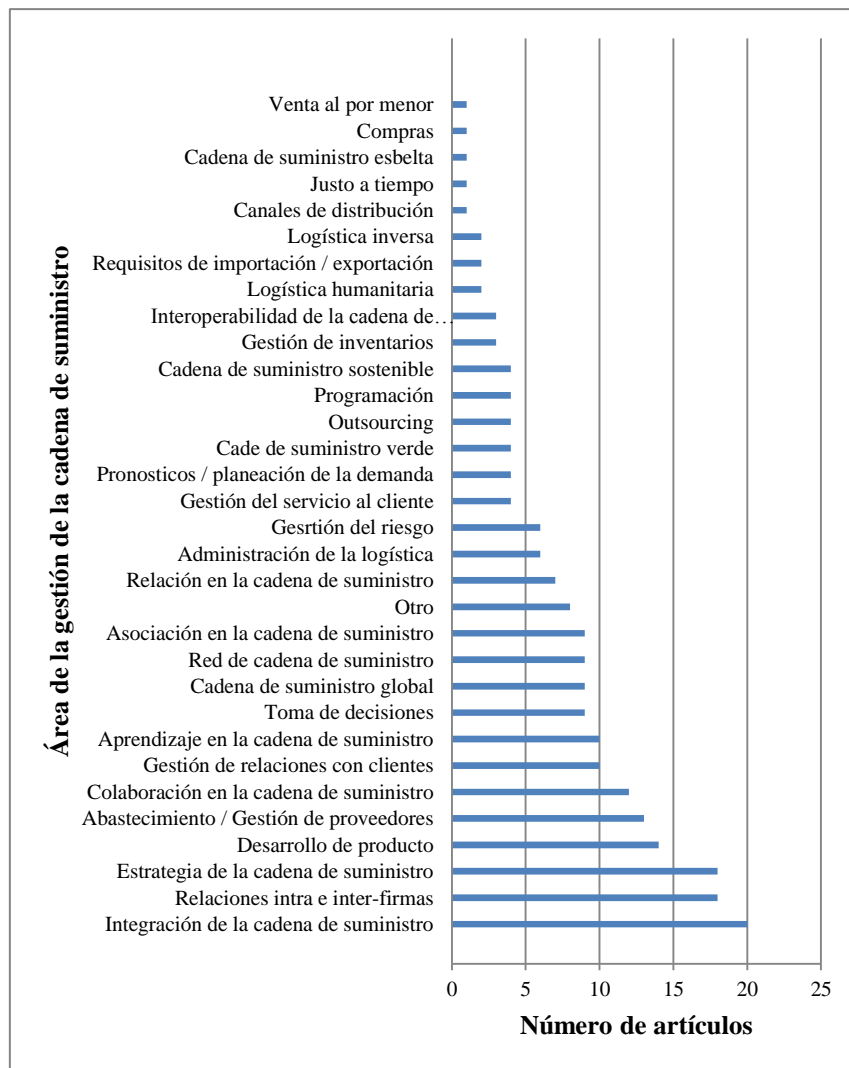


Figura 3.3 Distribución de los artículos revisados por área de la gestión de la CS

3.1.3.1 Integración de la CS

Los facilitadores de la GC son presentados como mecanismos para lograr la integración de la CS. Más específicamente, los facilitadores tecnológicos como infraestructura de las TI RFID (Ángeles, 2012; Wamba, 2012); el intercambio de integración de las TI y el conocimiento (Chen et al., 2013); las herramientas de las TI, la integración de sistemas de información y la gestión de la seguridad de la información (Nikabadi, 2014); la introducción y aceptación de estándares de comunicación (Shunk et al., 2007); y la decisión de adoptar sistemas inter-organizacionales y mejorar la integración de la CS (Chong y Bai, 2014). Con respecto a los factores humanos y sociales y la integración de la CS; habilidades y actitudes apropiadas para lograr la integración de la CS (Briscoe et al., 2001); compromiso en prácticas de la GC colaborativas (Li et al., 2012); el desarrollo de capacidades innovadoras mediante la integración a través de la colaboración con el propósito de acceder, compartir y aprovechar el conocimiento (Singh y Power, 2014).

Varios estudios discuten las prácticas de la GC, la integración de la CS y la mejora del rendimiento. Liu et al. (2013a) indicaron que la orientación al mercado modera la relación entre la integración de CS y el desempeño empresarial. Nagati y Rebolledo (2013) discutieron que un alto nivel de integración cliente-proveedor aprovecha el intercambio del conocimiento tácito y explícito, lo que se traduce en la mejora del rendimiento del proveedor. Yu et al. (2013) exploraron las relaciones entre la integración interna, la integración interna dentro de la CS y el efecto de la satisfacción del cliente sobre el desempeño financiero. Zhang y Huo (2013) concluyeron que la integración de la CS mejora el desempeño financiero de las empresas tomando en cuenta tanto la dependencia como la confianza en relaciones de la CS en la integración de la CS.

3.1.3.2 Relaciones intra e inter-firma

Como se ha señalado en trabajos sobre las relaciones intra e inter-firma, los factores humanos y sociales son factores clave de la GC para generar y aprovechar el conocimiento dentro de o entre organizaciones. Específicamente, la confianza, la comunicación, la colaboración y el intercambio de información contribuyen a mejorar la adopción de comercio colaborativo (Chong et al., 2013); la gobernanza adecuada de las relaciones inter-empresariales, como los incentivos de la confianza, los rehenes y el control del comportamiento para apoyar el intercambio del conocimiento (Hernández-Espallardo et al., 2010); el desarrollo de un contrato psicológico para retener a los gerentes clave en adquisiciones corporativas en el contexto de las cadenas de suministro (Kiessling et al., 2012); la confianza inter-organizacional y la complementariedad del conocimiento promueven conductas de intercambio del conocimiento en canales de suministro (Kim et al., 2012); y niveles superiores de justicia percibidos mutuamente por ambas partes son asociados de manera positiva con niveles más altos de comportamientos de vinculación dedicados a actividades de la CS (Liu et al., 2012).

Entre los modelos conceptuales sobre relaciones intra e inter-empresariales, Anbumozhi et al. (2010) presentó un modelo para un entorno integrado de elaboración de políticas de redes inter-empresariales para lograr el intercambio eficaz de recursos locales, una mejor calidad ambiental y una distribución imparcial de ganancias socioeconómicas; Capó-Vicedo, Mula y Capó (2011) desarrollaron un modelo de red social para representar una red del conocimiento con el fin de establecer relaciones interorganizacionales para crear conocimiento específico mediante la promoción de la confianza y la motivación en redes de suministro multinivel; Chen, Lin y Yen (2014) presentaron un modelo de intercambio del conocimiento para investigar las fuerzas motrices con el propósito de desarrollar confianza interorganizacional en toda la CS; Li, Liu y Liu (2011) propusieron un modelo para los efectos de la cooperación y los conflictos en el proceso de adquisición del conocimiento de un fabricante en la CS diádica; y Maçada et al. (2013) establecieron un modelo que categoriza las etapas de la gestión del conocimiento como definición, adquisición, distribución y uso, luego, estas son alineadas con niveles de relación: unilateral, bilateral y multilateral.

3.1.3.3 Estrategias de la CS

Se ha descubierto que las prácticas de la GC son mecanismos eficaces para lograr la alineación estratégica de la CS. Esto es destacado en los estudios que han vinculado el desempeño de la GC con la de CS: Craighead, Hult y Ketchen (2009) analizaron el vínculo entre la capacidad de desarrollo del conocimiento y el capital intelectual, la estrategia costo-innovación y el desempeño a nivel empresarial, categorizando cuatro tipos de estrategias de CS; Hult, Ketchen y Arrfelt (2007) investigan la consideración de la cultura de competitividad y el desarrollo del conocimiento, y la turbulencia del mercado para minimizar el tiempo de ciclo dentro de un ambiente de competencia; Hult et al. (2006) declararon que capitalizar el conocimiento puede crear un desempeño superior en las cadenas de suministro, pero sólo si el énfasis relativo en diversos elementos del conocimiento coincide con la estrategia; Li y Hu (2012) afirmaron que tanto los ingresos a largo plazo y la eficacia operativa pueden mejorarse a través de toda la CS mediante el intercambio de conocimiento repetido entre miembros de la CS; y McLaughlin (2010) mencionó que las organizaciones pueden identificar sus procesos de negocio básicos como responsivos y flexibles, o de otra forma, con una menor capacidad de respuesta, por lo tanto, lo anterior podría ser mostrado para adoptar un enfoque común para asegurar un rendimiento continuo relacionado con el intercambio de información, y el segundo pareció no alinear su estrategia del conocimiento a su desarrollo de procesos.

Dos facilitadores tecnológicos de la GC también son identificados: una reacción eficiente a presiones competitivas se asocia con un intercambio de información preciso y oportuno entre socios comerciales, lo que indica la importancia estratégica de la información para las decisiones de la CS efectivas (Adewole, 2005); y la captura de datos a través de inversiones en sistemas de información de la CS, para identificar cambios inherentes en el medio ambiente y ajustar estrategias en consecuencia (Collins et al., 2010).

3.1.3.4 Desarrollo de productos

Los estudios centrados en la innovación de productos surgieron de la literatura como un campo de aplicación interesante para la GC (Corso et al., 2001; Corso y Paolucci, 2001; Machikita y Ueki, 2012; McCoy et al., 2009).

Los facilitadores tecnológicos también parecieron desempeñar un papel importante en las iniciativas de la GC para el desarrollo de productos; las tecnologías de la Web 2.0 podrían utilizarse para aprovechar el conocimiento informal y no estructurado, la información contextualizada, las conexiones de redes y para crear y mantener activos del conocimiento de manera colectiva (Chirumalla, 2013); las TI en el fortalecimiento de la transferencia del conocimiento en el desarrollo de productos con tres propósitos, automatizar actividades de diseño, reutilizar el conocimiento a través de soluciones de diseño y apoyar la recombinación del conocimiento para nuevas soluciones de diseño (Corso y Paolucci, 2001); la minería de datos con el objetivo de extraer patrones del conocimiento específicos y reglas de los consumidores (Liao et al., 2009); la identificación de patrones/reglas del conocimiento y clusters para la GC con respecto a la línea de productos y extensiones de marca (Liao et al., 2008); y fuentes del conocimiento en red que influyen la innovación de los productos para intercambiar entre mantener operaciones existentes y desarrollar productos nuevos (Machikita y Ueki, 2012).

Además, se presentan modelos conceptuales de desarrollo de productos: Chen et al. (2008) propusieron un modelo utilizado para asesorar un modelo en una red sobre la GC y gestión de desarrollo de procesos apropiados con el fin de mejorar la gestión del ciclo de vida del producto para la nueva mezcla de productos; Tatikonda y Stock (2003) desarrollaron un modelo de determinantes del éxito de la transferencia de tecnología de productos en tecnología de la CS enfatizando la necesidad de un ajuste entre la incertidumbre de la tecnología de ser transferida y la interacción inter-organizacional entre la fuente de la tecnología y la empresa receptora; y Yam, Chan y Chung (2007) propusieron un modelo de negocios de la GC en una empresa en red para el diseño y la fabricación de un producto globales argumentando que la GC puede desplegarse efectivamente en la gestión del proceso de desarrollo colaborativo de productos.

3.1.4 Procesos de la GC

Se clasificaron los procesos de la GC de acuerdo con el espectro exploración del conocimiento –explotación del conocimiento (Oshri, Pan, & Newell, 2005) , en el cual la creación del conocimiento es el punto de partida y la aplicación del conocimiento se encuentra al final del espectro. Existe una clara tendencia en los trabajos revisados hacia el centro de este rango. Específicamente, el proceso de transferencia del conocimiento es discutido en 89 estudios. Los estudios que abarcan los cuatro procesos de la GC representan la segunda tendencia hasta cierto punto. La creación del conocimiento apareció en la tercera posición.

3.1.4.1 Exploración

El proceso de creación del conocimiento está relacionado con la gestión de las relaciones con los clientes (Fahey, Srivastava, Sharon, & Smith, 2001; Sivakumar & Roy, 2004; Wu, 2008); las gestión del servicio con los clientes (Chen and Li 2006), CS global (Jean, Sinkovics, & Hiebaum, 2014; A. Verma & Tiwari, 2009); relaciones intra y inter-firma (Li, Liu, and Liu 2011; Mazzola and Perrone 2013); desarrollo de productos (Becker and Zirpoli 2003; Chen et al. 2008); gestión del riesgo (Jüttner & Maklan, 2011); colaboración en la CS (Cao, Vonderembse, Zhang, & Ragu-Nathan, 2010); integración de la CS (Angeles, 2012; Yu et al., 2013); aprendizaje en la CS (Breite and Koskinen 2014); red de la CS (Lau et al., 2009); asociación en la CS (Malhotra et al., 2005; Su, Fang, & Young, 2013); y CS sostenible (Van Hoof, 2014). El almacenamiento del conocimiento es referido por Tah and Carr (2001) en la gestión del riesgo. La creación y el almacenamiento del conocimiento son tratados por Liao, Chen, & Wu (2008) en el desarrollo de productos.

3.1.4.2 Explotación

El proceso de transferencia del conocimiento está asociado con la gestión de las relaciones con los clientes (Smith, 2009); gestión del servicio a los clientes (Paton & McLaughlin, 2008); toma de decisiones (Hedtrich, Loy, & Müller, 2009; Kayakutlu & Büyüközkan, 2010; Koh & Tan, 2006); planeación de la demanda (Pedroso & Nakano, 2009; Wadhwa, Saxena, & Bibhushan, 2006; Wynn & Olubanjo, 2012); CS global (Cheung and Myers 2008; Cheung, Myers, and Mentzer 2011; Worasinchai and Daneshgar 2012; Zernand-Vilson and Elenurm 2010); CS verde (Cheng, Yeh, & Tu, 2008; Hung, Chen, & Chung, 2014; Kai, Wei, & Meng-Lin, 2014; Qi & Chen, 2014); logística humanitaria (Kovács & Spens, 2010); requerimientos de importación/exportación (Kaewboonma, Tuamsuk, & Kanarkard, 2013); servicios de información (Uusipaavalniemi & Juga, 2009); relaciones intra e inter-firma (Anbumozhi et al. 2010; Capó - Vicedo, Mula, and Capó 2011; Chen, Lin, and Yen 2014; Cheung, Myers, and Mentzer 2010; Hernández-Espallardo, Rodríguez-Orejuela, and Sánchez-Pérez 2010; Kiessling, Harvey, and Moeller 2012; Kim et al. 2012; Liu et al. 2012; Maçada et al. 2013; Machikita and Ueki 2013; Mentzas et al. 2006; Paulraj, Lado, and Chen 2008; Zhang et al. 2013); gestión de inventarios (Zhu et al., 2012); gestión de la logística (Norbis, Meixell, & Tuggle, 2013; Rollins et al., 2011; Viswanadham & Gaonkar, 2009); *outsourcing* (Bandyopadhyay and Pathak 2007; Cha, Pingry, and Thatcher 2008; Choi, Budny, and Wank 2004; Lu, Meng, and Goh 2014); abastecimiento / gestión de proveedores (Blome, Schoenherr, and Eckstein 2014; Huang, Stewart, and Chen 2010; Modi and Mabert 2007; Ordoobadi and Wang 2011); desarrollo de producto (Corso and Paolucci 2001; Machikita and Ueki 2012; McCoy, Thabet, and Badinelli 2009; Tatikonda and Stock 2003); gestión del riesgo (Cantor, Blackhurst, Pan, & Crum, 2014; Cerruti & Delbufalo, 2009; Le, Arch-Int, Nguyen, & Arch-Int, 2013); programación (Al-Mutawah, Lee, and Cheung 2009); colaboración en la CS (Corso et al. 2010; Eng 2006; Wadhwa and Saxena 2007; Yang 2012); integración de la CS (Lin 2014; Liu et al. 2013a;

Nagati and Rebolledo 2013; Shunk et al. 2007; Singh and Power 2014; Wamba 2012; Xiuhong 2013; Zhang and Huo 2013); interoperabilidad en la CS (Whitman & Panetto, 2006); aprendizaje en la CS (Biotto, De Toni, & Nonino, 2012; Tennant & Fernie, 2013); red de la CS (Purwaningrum & Evers, 2012; Rao, 2007; Samaddar, Nargundkar, & Daley, 2006; Shih et al., 2012); asociación en la CS (Ke & Wei, 2007; Malhotra, Gosain, & El Sawy, 2007); relaciones en la CS (Cai et al. 2013; More and Basu 2013; Thomas, Fugate, and Koukova 2011; Yazici 2012); estrategia de la CS (Nikabadi & Zamanloo, 2012; Thomas, Thomas, Manrodt, & Rutner, 2013); y la CS sostenible (Cervellon & Wernerfelt, 2012).

3.1.5 *Discusión*

A continuación se presentan algunas direcciones de investigaciones futuras relacionadas con los tres puntos de vista emprendidos en la revisión sistemática de literatura 1) el enfoque metodológico, 2) el área de gestión de la CS y 3) los procesos de gestión del conocimiento.

En primer lugar, en cuanto al enfoque metodológico, los estudios de caso, las encuestas y los modelos conceptuales son los métodos de investigación más comúnmente adoptados por los autores. De los estudios que utilizan un enfoque de estudio de caso, sólo veintiséis artículos de sesenta y dos exhiben datos cuantitativos. Con el objetivo de lograr una contribución sólida a la construcción de la teoría en el campo de la GC en el contexto de la CS, se reconoce la necesidad de un movimiento hacia el uso de metodologías replicables que den como resultado datos confiables y utilizables para implementar los marcos de la GC propuestos en la academia. Estudios futuros deberían considerar técnicas matemáticas o de simulación para apoyar la evidencia sobre los resultados de la implementación de la GC en la CS.

En segundo lugar, los resultados demuestran que la GC desempeña un papel importante en el apoyo a la implementación de prácticas de la gestión de la CS. Específicamente, la GC ha sido vinculada con: (i) la integración de la CS; (ii) el mejoramiento de las relaciones intra e inter-firmas para potenciar el conocimiento; (iii) el alineamiento de las estrategias de la CS; y (iv) el fortalecimiento de la transferencia del conocimiento en el desarrollo de productos. Sin embargo, algunas áreas de la gestión de la CS han sido exploradas sólo hasta cierto punto. Otros académicos deben prestar atención a la gestión de la logística, la gestión de riesgos, la gestión de servicio al cliente, la planificación de la demanda, el *outsourcing* y la gestión de inventario. También hay una oportunidad importante para realizar estudios relacionados con el ámbito de la logística inversa, la logística humana, la CS global, la CS verde y la CS sostenible.

Finalmente, existe una cantidad considerable de literatura sobre el proceso de transferencia del conocimiento en los artículos revisados. Aunque esta literatura tiene contribuciones importantes a la comprensión de los efectos del intercambio del conocimiento sobre los resultados en el desempeño de la CS, se presta menos atención al proceso de creación y almacenamiento de conocimiento. Asimismo, estudios futuros deberán enfocarse en el proceso

de aplicación del conocimiento y las implicaciones relacionadas con la habilidad de utilizar nuevos conocimientos relevantes adquiridos para lograr los objetivos de la CS.

3.2 Aplicación del enfoque de modelado de agentes inteligentes en la CS

De acuerdo a una investigación sistemática realizada a 219 artículos relacionados con la aplicación exitosa de agentes inteligentes en áreas específicas en la CS, se denota en la Figura 3.4 que el área de conocimiento más abordada en los artículos analizados es Ingeniería, cuenta con 105 artículos de los 219 en análisis, esto quiere decir que los sistemas multi-agente se han empleado extensamente para la solución de problemas en aspectos ingenieriles a lo largo de la CS.

Así mismo el área de Ciencias de la decisión es la segunda área de conocimiento más abordada con un total de 63 artículos de la colección de literatura, en la que los multi-agentes se han desempeñado con éxito para solucionar problemáticas referentes a coordinación y gestión de la información debido a sus propiedades de comunicación, reactividad y proactividad.

La tercera posición se encuentra el área de conocimiento Negocios y administración con un total de 38 artículos referentes a esta área. Las demás áreas de conocimiento registraron menor índice de aplicación con hasta 1 artículo, lo cual no refleja ineficiencia de la herramienta en el área de conocimiento, sino que no se han realizado suficientes estudios debido a la modernidad de los multi-agentes.

Cabe mencionar que de acuerdo con Higgins, Thorburn, Archer, & Jakku (2007) aspectos de manufactura e ingeniería resultan más fáciles de modelar y resolver que otras áreas de conocimiento.

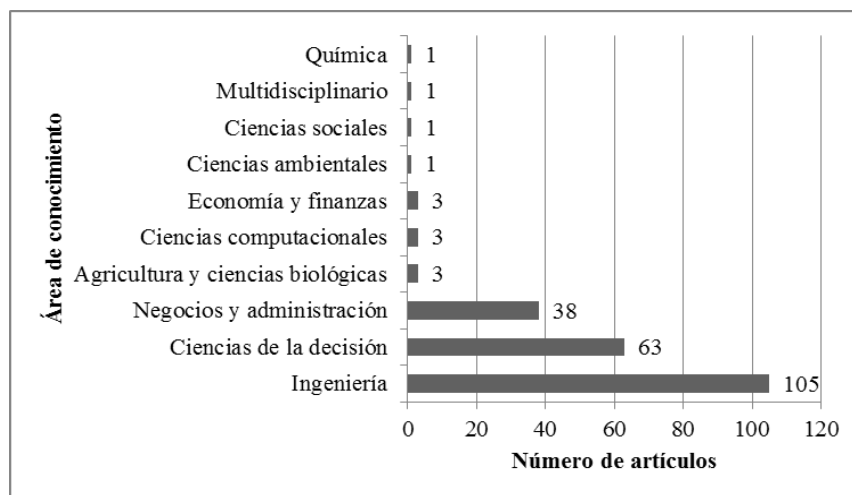


Figura 3.4 Aplicación de agentes inteligentes en áreas específicas de conocimiento

Los resultados referentes a las problemáticas de la gestión de la CS, que más se registraron al analizar los artículos, se presentan de manera detallada en Figura 3.5, con el claro objetivo de enfatizar cuales son las problemáticas más frecuentes que se han resuelto con multi-agentes.

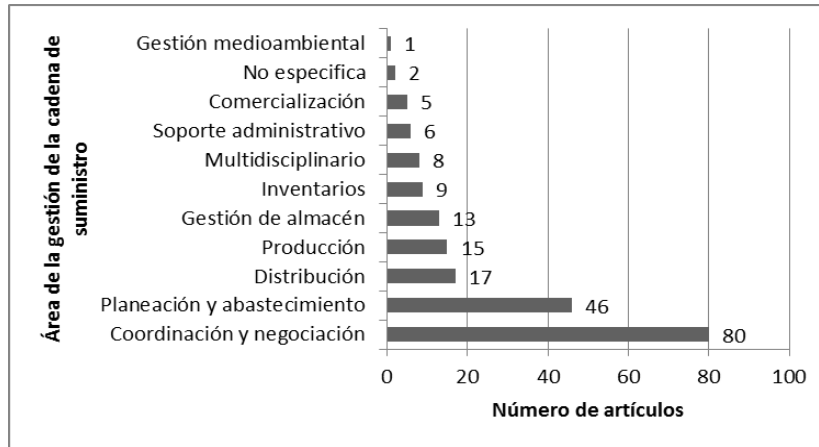


Figura 3.5 Número de artículos por área de la gestión de la CS

Se puede argumentar que los problemas de coordinación, comunicación y negociación son los más abordados con un total de 80 artículos, es decir, un 40% de los artículos de esta sección se enfocaron en resolver estos problemas, tal como Lou, Zhou, Chen, Fuh, & Zhang (2006) que genera un mecanismo automático de negociación con los proveedores y distribuidores para la asignación de tareas y mejorar la coordinación de la CS, o en algún punto específico, tal como Ying & Dayong (2005) que mejora la negociación entre cliente y los servicios de logística de distribución externa, siendo el sistema multi-agente un soporte para la administración de órdenes de pedido y despacho para la empresa externa. Siendo esta última aportación de carácter crucial al colaborar un sistema multi-agente con sistemas de administración de recursos empresariales. Cabe mencionar que este tipo de problemas sobre coordinación y negociación no son abordados por técnicas tradicionales que sólo se enfocan a problemas particulares y no gestionan la cooperación entre todos los involucrados de la CS.

La segunda área de mayor afluencia, con un total de 46 contribuciones (23%), resulta ser la referente a Planeación y abastecimiento, siendo este uno de los temas más variables y atacados por enfoques tradicionales. Se puede decir que los sistemas multi-agente son altamente competentes ante problemas de abastecimiento como selección de proveedores u otros temas relacionados. Tal es el caso de Kumari, Singh, Mishra, & Garza-Reyes (2015), Labarthe, Espinasse, Ferrarini, & Montreuil (2007), y Soroor, Tarokh, & Abedzadeh (2012), por mencionar algunas contribuciones, que se enfrentan ante la incertidumbre de elegir proveedores nuevos para agilizar la producción y lograr las órdenes de los clientes de una forma eficiente y coordinada, los tres autores proponen una modulación multi-agentes que consiste en un agente coleccionador de órdenes de compras, selector de proveedores, transporte, *outsourcing*, planificador, pronósticos, mantenimiento, administrativo y una base

de conocimiento para el aprendizaje continuo de los agentes y puedan realizar mejor las tareas encomendadas.

Para las demás áreas de la gestión de la CS se presentan situaciones similares a las descritas, en donde varios autores se asemejan en la modelación multi-agente para la solución de problemas, comparten conocimiento a través de canales de comunicación como el internet para mejorar procesos, la mayoría de los módulos de agentes analizados presentan una base de datos o base de conocimiento que permite gestionar el aprendizaje de los agentes en sus tareas y finalmente se pueda asegurar, de acuerdo a los artículos analizados, que todas las aportaciones lograron resolver exitosamente las problemáticas planteadas gracias a las características especiales de los agentes inteligentes.

Para el caso de identificar cuál es el eslabón donde se realizan los estudios principales para la solución de problemáticas, se presenta la Figura 3.6, donde se puede apreciar significativamente que el eslabón Fabricante es el de mayor cantidad de estudios independientemente del tipo de estructura con la que cuente la CS analizada. Cabe mencionar que la aplicación de estudios al eslabón Fabricante asciende a 139, que corresponde a un 63% de los artículos analizados.

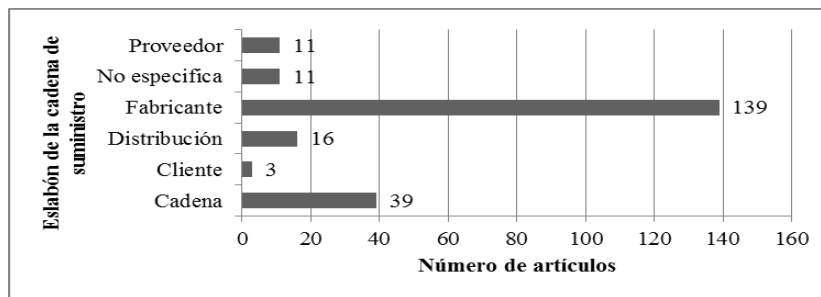


Figura 3.6 Número de artículos por eslabón de la CS

El segundo lugar de importancia de acuerdo al eslabón con mayor aplicación de investigaciones es denominado Cadena, es decir, 39 aplicaciones de estudios sobre la cadea de suministro y agentes inteligentes se han realizado a nivel red, involucrando a proveedores, fabricantes, detallistas y clientes.

3.2.1 *Discusión*

La aplicación del enfoque de sistema basado en agentes es utilizado en para dar solución a problemas relacionados en la CS, en los que destacaron problemas de coordinación y negociación de recursos principalmente, planificación de la demanda, logística interna, transporte y proveeduría, por tal motivo se concuerda con Min (2010) al especificar que el modelado de agentes es la herramienta idónea para resolver problemas de la CS.

Así también se detectó que el software más utilizado para la resolución de las problemáticas basado en sistemas de agentes es *Java Agent Development framework* (JADE) y AnyLogic[®], y debido a que se busca crear un sistema de apoyo a la decisión, se opta por emplear el software AnyLogic[®] versión libre y lograr este proyecto. Algunos de los trabajos publicados utilizan diferente plataforma para la modelación de agentes como lo es C++, Protegé, Tropos, Phyton, Mallet, entre otros, cabe mencionar que algunas publicaciones no mencionan el software con el cual modelaron agentes pero se sabe al menos que la plataforma de Java es una de las más completas y amigables a la hora de programar el sistema de agentes.

Como parte del análisis de los trabajos publicados se detecta que en su mayoría las problemáticas abordadas son dentro de la CS pero considerando puntos particulares de la cadena y pocos de ellos se enfocan al análisis de la misma con enfoque de optimización.

Se encontró sólo un artículo de los tres existentes en la clasificación agricultura y ciencias biológicas, que involucra un enfoque agrícola presentada por Higgins et al. (2007) en donde muestra que las oportunidades de las cadenas de valor requieren más que una solución técnica y se requiere una integración colectiva entre todos los miembros de la CS. Se muestra que existen mayores beneficios en una cadena ágil en comparación con la tendencia actual de sistemas esbeltos, así mismo se hace mención de las futuras ventajas competitivas del enfoque multi-agente de la cadena de valor en el azúcar para lograr un mejor funcionamiento desde el aumento en la integración empresarial, comunicación y transparencia de actividades; cabe mencionar que gran parte de la información presentada es relevante para las cadenas de otros productos agrícolas.

Por lo anterior expuesto, se detecta un área de oportunidad en abordar el área de conocimiento relacionada con la agricultura y ciencias biológicas con la creación un SGC que modele la CS del café de manera tal que cada eslabón sea capaz de tomar decisiones sin comprometer el objetivo global de la cadena, mejorando con ello el desempeño de la misma.

3.3 El problema de ubicación de instalaciones en la CS humanitaria

El problema de ubicación de instalaciones es un tópico prioritario, por lo que se decidió como primer tema a abordar dentro del estudio de la CS humanitaria. Se realizó una revisión sistemática de la literatura que incluyó artículos aceptados de los últimos diez años; recuperados de la base de datos de *Web of Science* sobre la logística humanitaria específicamente el problema de ubicación de la instalación. Se seleccionó y analizó una muestra final de 50 documentos publicados entre enero 2007 y abril de 2018 con el fin de visualizar las tendencias internacionales para resolver la cuestión de ubicación de instalaciones en la CS humanitaria. Se utilizó la combinación de palabras clave “*Humanitarian**” AND “*Location*” AND “*Logistics*” en *Topic* (título, resumen, palabras clave). Los resultados

resultantes se limitaron al tipo de documento “Artículo” y “Revisión” que dieron lugar a una muestra de 123 documentos. Una muestra final de 50 artículos permaneció para el propósito de esta revisión.

La Tabla 3.1 está construida a partir de artículos revisados, donde los estudios son clasificados de acuerdo a: 1) referencia; 2) método de investigación; 3) etapa del ciclo de vida del desastre; 4) tipo de ubicación de instalación; 5) enfoque de modelado de datos; 6) método de solución para el modelo matemático y 7) criterios de decisión.

Tabla 3.1a Estudio analizados referentes al problema de ubicación en la CS humanitaria

Referencia	Título	Método	Etapa	Ubicación	Datos	Solución	Decisión
(Abounacer, Rezik, & Renaud, 2014)	<i>An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Determinístico	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo
(Ahmadi, Seifi, & Tootooni, 2015)	<i>A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district</i>	Caso de estudio	Alivio	Almacén	Estocástico	Algoritmo VNS	Multi-objetivo
(Albareda-Sambola, Hinojosa, Marín, & Puerto, 2015)	<i>When centers can fail: A close second opportunity</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Mixto	Determinístico	Modelo de programación entera	Minimizar distancia
(Balcik & Beamon, 2008)	<i>Facility location in humanitarian relief</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Determinístico	Algoritmo exacto	Maximizar el cumplimiento de la demanda
(Barzinpour & Esmacili, 2014)	<i>A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	determinístico	Programación entera mixta	Multi-objetivo
(Baskaya, Ertem, & Duran, 2017)	<i>Pre-positioning of relief items in humanitarian logistics considering lateral transshipment opportunities</i>	Caso de estudio	Preparación	Punto de distribución	Estocástico	Programación entera mixta	Minimizar distancia
(Bell, Fonzone, & Polyzoni, 2014)	<i>Depot location in degradable transport networks</i>	Caso de estudio	Alivio	Almacén	Robusto	Estrategia mixta equilibrio de Nash	Minimizar tiempo de respuesta
(Bozkurt & Duran, 2012)	<i>Effects of Natural Disaster Trends: A Case Study for Expanding the Pre-Positioning Network of CARE International</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Determinístico	Programación entera mixta	Minimizar tiempo de respuesta
(Bozorgi-Amiri & Khorsi, 2016)	<i>A dynamic multi-objective location-routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters</i>	Caso de estudio	Preparación, alivio	Almacén	Dinámico	Programación entera mixta	Multi-objetivo

Tabla 3.1b Estudio analizados referentes al problema de ubicación en la CS humanitaria

Referencia	Título	Método	Etapas	Ubicación	Datos	Solución	Decisión
(Bozorgi-Amiri, Jabalameli, & Mirzapour Al-e-Hashem, 2013)	<i>A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty</i>	Caso de estudio	Alivio	Almacén	Robusto	Programación entera mixta	Multi-objetivo
(Burkart, Nolz, & Gutjahr, 2017)	<i>Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	determinístico	Algoritmo genético	Multi-objetivo
(Celik, 2017)	<i>A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management</i>	Caso de estudio	Preparación	Albergue	Lingüístico	Lógica difusa	Multi-objetivo
(Condeixa, Leiras, Oliveira, & de Brito, 2017)	<i>Disaster relief supply pre-positioning optimization: A risk analysis via shortage mitigation</i>	Ejemplos numéricos	Preparación	Mixto	Estocástico	Valor condicional en riesgo	Minimizar costo
(Döyen, Aras, & Barbarosoğlu, 2012)	<i>A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Mixto	Estocástico	Programación entera mixta	Minimizar costo
(Duhamel, Santos, Brasil, Châtelet, & Birregah, 2016)	<i>Connecting a population dynamic model with a multi-period location-allocation problem for post-disaster relief operations</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Dinámico	Algoritmo de búsqueda directa adaptativa de malla	Maximizar el cumplimiento de la demanda
(Golabi, Shavarani, & Izbirak, 2017)	<i>An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake</i>	Caso de estudio	Preparación	Punto de distribución	Robusto	Algoritmo genético	Minimizar el tiempo de viaje
(Görmez, Köksalan, & Salman, 2011)	<i>Locating disaster response facilities in Istanbul</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Determinístico	Método épsilon-restricción	Minimizar distancia
(Gutjahr & Dzubur, 2016)	<i>Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Determinístico	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo
(Haghi, Fatemi Ghomi, & Jolai, 2017)	<i>Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource</i>	Ejemplos numéricos	Preparación, alivio	Punto de distribución	Robusto	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo
(Hasanzadeh & Bashiri, 2016)	<i>An efficient network for disaster management: Model and solution</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Determinístico	Relajación Lagrangiana	Minimizar costo
(He, Feng, Hu, & Liang, 2017)	<i>A Decision Model for Emergency Warehouse Location Based on a Novel Stochastic MCDA Method: Evidence from China</i>	Simulación	Preparación	Almacén	Estocástico	Método ELECTRE-II	Multi-objetivo
(Hong, Lejeune, & Noyan, 2015)	<i>Stochastic network design for disaster preparedness</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Robusto	Programación entera mixta	Minimizar costo

Tabla 3.1c Estudio analizados referentes al problema de ubicación en la CS humanitaria

Referencia	Título	Método	Etapas	Ubicación	Datos	Solución	Decisión
(Jahre et al., 2016)	<i>Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Robusto	Programación entera mixta	Multi-objetivo
(Khayal, Pradhananga, Pokharel, & Mutlu, 2015)	<i>A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response</i>	Ejemplos numéricos	Preparación	Punto de distribución	Dinámico	Programación entera mixta	Minimizar costo
(Kilci, Kara, & Bozkaya, 2015)	<i>Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey</i>	Caso de estudio	Alivio	Albergue	Determinístico	Programación entera mixta	Maximizar el peso mínimo de las áreas de refugio abierto
(Yajie Liu & Guo, 2014)	<i>A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Robusto	Algoritmo heurístico	Multi-objetivo
(Maharjan & Hanaoka, 2018)	<i>A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Dinámico	Lógica difusa	Multi-objetivo
(Mejia-Argueta, Gaytán, Caballero, Molina, & Vitoriano, 2018)	<i>Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods</i>	Caso de estudio	Preparación	Mixto	Determinístico	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo
(Muggy & Heier Stamm, 2017)	<i>Dynamic, robust models to quantify the impact of decentralization in post-disaster health care facility location decisions</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Estocástico	Programación entera mixta	Maximizar el cumplimiento de la demanda
(Najafi, Farahani, De Brito, & Dullaert, 2015)	<i>Location and Distribution Management of Relief Centers: A Genetic Algorithm Approach</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Estocástico	Algoritmo genético	Multi-objetivo
(Rath & Gutjahr, 2014)	<i>A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Determinístico	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo
(Renkli & Duran, 2015)	<i>Pre-Positioning Disaster Response Facilities and Relief Items</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Estocástico	Programación entera mixta	Minimizar tiempo de respuesta
(Rennemo, Rø, Hvattum, & Tirado, 2014)	<i>A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Estocástico	Programación entera mixta	Maximizar el cumplimiento de la demanda
(Rezaei-Malek, Tavakkoli-Moghaddam, Zahiri, & Bozorgi-Amiri, 2016)	<i>An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities</i>	Caso de estudio	Preparación	Mixto	Robusto	Procedimiento de reserva Tchebycheff	Multi-objetivo
(Rodríguez-Espíndola & Gaytán, 2015)	<i>Scenario-based preparedness plan for floods</i>	Caso de estudio	Preparación	Mixto	Determinístico	Método épsilon-restricción	Multi-objetivo

Tabla 3.1d Estudio analizados referentes al problema de ubicación en la CS humanitaria

Referencia	Título	Método	Etapas	Ubicación	Datos	Solución	Decisión
(Sahebjamnia, Torabi, & Mansouri, 2017)	<i>A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains</i>	Caso de estudio	Alivio	Punto de distribución	Estocástico	Motor de inferencia basado en reglas	Multi-objetivo
(Salmeron & Apte, 2010)	<i>Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning</i>	Ejemplos numéricos	Preparación	Mixto	Robusto	Programación entera mixta	Minimizar las bajas
(Tofighi, Torabi, & Mansouri, 2016)	<i>Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty</i>	Caso de estudio	Preparación	Mixto	Estocástico	Programación estocástica-posibilista	Multi-objetivo
(Tuzkaya, Yilmazer, & Tuzkaya, 2015)	<i>An Integrated Methodology for the Emergency Logistics Centers Location Selection Problem and its Application for the Turkey Case</i>	Caso de estudio	Preparación	Mixto	Determinístico	Proceso de red analítica, DEMATEL	Multi-objetivo
(Ukkusuri & Yushimito, 2008)	<i>Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Estocástico	Programación entera mixta	Maximizar el cumplimiento de la demanda
(Vahdani, Veysmoradi, Noori, & Mansour, 2018)	<i>Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty</i>	Ejemplos numéricos	Preparación	Mixto	Dinámico	Algoritmo genético	Multi-objetivo
(Vanajakumari, Kumar, & Gupta, 2016)	<i>An Integrated Logistic Model for Predictable Disasters</i>	Ejemplos numéricos	Alivio	Punto de distribución	Robusto	Programación entera mixta	Minimizar costo
(Vargas Florez, Lauras, Okongwu, & Dupont, 2015)	<i>A decision support system for robust humanitarian facility location</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Robusto	Programación entera	Minimizar costo
(Verma & Gaukler, 2015)	<i>Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches</i>	Caso de estudio	Preparación	Almacén	Estocástico	Descomposición de Benders	Minimizar distancia

Como se ilustra en la Figura 3.7, se observa una tendencia positiva en referencia al aumento de los artículos publicados; esto se hace notorio en 2014, con un pico en 2015. Lo anterior puede considerarse debido a la ocurrencia de varios desastres naturales, en 2010 el terremoto de Haití con una magnitud de 7,0 y al menos 52 réplicas dejó una destrucción generalizada; en 2011 se produjeron dos catástrofes importantes, el terremoto de Japón y el posterior tsunami y las inundaciones y deslizamientos de tierra en Río de Janeiro; y en 2013 el tifón Haiyan en Filipinas y tornados en EE. UU.

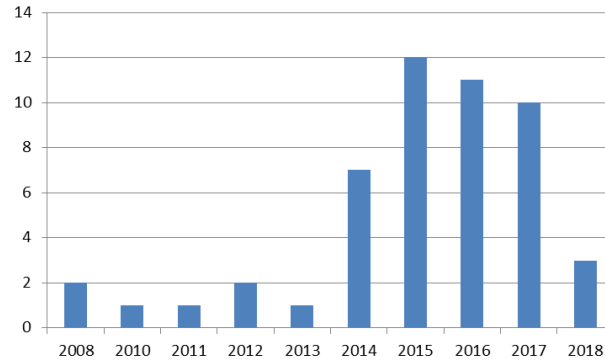


Figura 3.7 Distribución de los artículos revisados por año

3.3.1 *Discusión*

Algunos de los hallazgos más importantes de la revisión de la literatura se resumen a continuación. El país más prolífico referente a la publicación de este tópico es Irán con un total de 11 documentos, de los cuales 8 están enfocados a terremotos y 3 a desastres generales, esto se debe a la propensión a la ocurrencia y la amenaza constante de un terremoto devastador debido a las características topológicas de la región. México no ha publicado artículos sobre esta área específica de investigación como primer autor. Asimismo, México solo ha colaborado con dos estudios, Rodríguez-Espíndola & Gaytán (2015) y Mejía-Argueta, Gaytán, Caballero, Molina, & Vitoriano (2018) han propuesto modelos para resolver el problema de ubicación de instalaciones en inundaciones.

Para resolver el desafío de la ubicación de instalaciones, la estrategia utilizada es generar un modelo matemático que represente las características de la situación particular y luego la aplicación de una o más técnicas de optimización; la más utilizada es la programación entera mixta. Es de particular interés resaltar que existe una creciente utilización de la inteligencia artificial, en comparación con lo reportado en revisiones de literatura previas en esta área específica de conocimiento. Sin embargo, la utilización de esta técnica es poca aún.

En referencia a la evolución en el tipo de modelado de datos, los resultados mostraron un aumento en los estudios que consideran parámetros inciertos. En contraste con los hallazgos de la revisión llevada a cabo por Habib et al. (2016), la mayoría de los modelos eran determinísticos y pocos de estos estocásticos. A pesar de que el enfoque determinístico siguen siendo el tipo de modelado de datos más utilizado, el enfoque estocástico está adquiriendo importancia y robustez.

El estudio de caso es el principal método de investigación utilizado por los autores. Respecto a los criterios de decisión considerados por las autores, el enfoque multi-objetivo es mayormente considerado, los modelos son cada vez más complejos para poder representar y

resolver la gran complejidad de una situación de desastre real; esto puede deberse a avances constantes en la tecnología y un interés creciente en resolver el problema de ubicación de instalaciones.

Respecto a la clasificación de los estudios de acuerdo a la etapa del ciclo de vida del desastre, los esfuerzos de la logística humanitaria en el problema de ubicación de instalaciones se han enfocado a la etapa de alivio y preparación, lo que significa que no se han considerado las etapas de mitigación y recuperación. Es comprensible debido a la naturaleza del problema, que la investigación se haya centrado en estas dos etapas. Sin embargo, Habib et al. (2016) resalta la importancia de centrar investigaciones en las etapas de mitigación y recuperación, ya que incluyen la gestión de escombros y la reparación de la infraestructura afectada.

Capítulo 4. Metodología de investigación

Resumen

El presente capítulo inicia con el análisis comparativo de la metodología propuesta con los trabajos publicados y la descripción de la metodología que se enmarca en las etapas de análisis, estandarización, diseño y desarrollo, y simulación. Primero, el desarrollo del capítulo presenta la aplicación de la metodología en la CS agroalimentaria; los datos de entrada en la CS agroalimentaria se toman de una CS de café verde. Segundo, se explica la aplicación de la metodología en la CS humanitaria; los datos de entrada en la CS humanitaria se tomaron del caso del terremoto en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017.

4.1 Análisis comparativo de la metodología propuesta con los trabajos publicados

Varios estudios han utilizado el enfoque de agentes inteligentes como referencia para el modelado y la simulación de la CS. Labarthe, Espinasse, Ferrarini, & Montreuil (2007) presentan un *framework* de agentes para el modelado y simulación de cadenas de suministro para facilitar su gestión. El *framework* proporciona tres niveles de acción: el conceptual, el operacional y el experimental, además de un estudio de caso relativo a una CS en el campo de la industria de los clubes de golf, la cual sirve para ilustrar la aplicación de la metodología. Mustapha, Tranvouez, Espinasse, & Ferrarini (2010) propusieron un marco metodológico para la modelación y simulación apoyada por agentes para la planificación de la CS basada en modelos conceptuales y operacionales. Este marco permite el estudio del impacto de una estructura organizacional específica de la CS y las políticas de gestión relacionadas con el desempeño de la cadena. Santa-Eulalia, D'Amours, & Frayret (2012) exponen un marco metodológico que proporciona: 1) una representación uniforme de sistemas distribuidos avanzados de planificación y programación de la CS utilizando tecnología de agentes; y 2) un enfoque metodológico que apoya a los analistas en la definición de los requisitos funcionales de los posibles experimentos de simulación. Las metodológicas de Govindu & Chinnam (2007) y Long (2014) añaden además el modelo SCOR proponiendo métodos para modelar la CS con el enfoque de agentes inteligentes y el modelo de referencia SCOR. Govindu & Chinnam (2007) propusieron un marco metodológico centrado en procesos para simplificar el desarrollo de sistemas multi-agente para aplicaciones de la CS. Esta propuesta introduce la noción de la representación de la organización centrada procesos y adopta de manera creativa el modelo SCOR a la metodología Gaia (método para el diseño y análisis de sistemas multi-agente) para el desarrollo de sistemas multi-agente de la CS. La validez del marco se

estableció mediante la implementación del resultado de la metodología en la CS del Tamagotchi utilizando el *framework* Java Agent Development (JADE). Long (2014) propone una metodología para el modelado y la simulación de la CS mediante la integración de simulación distribuida basada en agentes y el modelo SCOR. La metodología involucra dos componentes: un marco jerárquico para el modelado de la red de CS basado en el modelo SCOR y bloques de construcción de agentes integrando los procesos estándar del modelo SCOR. El marco jerárquico proporciona un enfoque para el modelado de estructuras en cualquier nivel con diferentes granularidades basadas en el modelo SCOR lo que permite mapear rápidamente una red de la CS en el modelo de la estructura de un sistema multi-agente; mientras que los bloques de construcción de agentes se presentan como útiles para llenar el modelo de la estructura y alcanzar el modelado de la función.

CRITERIO Mustapha et al. (2010)	FASES DE LA METODOLOGÍA									
	ANÁLISIS	DISEÑO				DESARROLLO			SIMULACIÓN	
		Modelo organizacional	Modelado multi-nivel	Multi-paradigma	Ontología de soporte	Notación gráfica	Entorno de desarrollo del Agente	Simulación multi-escala	Soporte para la implementación	
		x	x	x	x		x		x	x
			x	x	x		x		x	x
		x	x	x	x					
Integran el modelo SCOR con el enfoque de agentes		x	x	x						
			x	x	x		x	x	x	x
		x	x	x	x		x	x	x	x

Considera el criterio
 No especifica
 No considera el criterio

Figura 4.1 Contribución de la metodología propuesta y los trabajos publicados

La Figura 4.1 presenta la comparación de los trabajos relacionados con base en los criterios establecidos para las etapas de diseño y desarrollo, indicando sí la metodología considera el criterio, no lo considera o no lo especifica. Con el objetivo de efectuar un análisis comparativo de los trabajos relacionados y la metodología propuesta en el trabajo de tesis, se tomaron en cuenta los siguientes requerimientos para el modelado y simulación de la CS en la etapa de diseño (Mustapha et al., 2010): modelo organizacional, modelado multi-nivel, multi-paradigma, ontología de soporte, notación gráfica. De igual manera, para la etapa de desarrollo se consideraron los siguientes criterios: entorno de desarrollo del agente, simulación multi-escala y soporte para la implementación. El modelado multi-nivel se refiere a describir a la CS como como compuesto de diferentes niveles de organización con diversos grados de detalle; por lo tanto, cada nivel debe enfocarse en sus necesidades de representación específicas de

observación y comportamiento, pero permitir también conectar entre niveles. La simulación multi-escala tiene que ver con la capacidad de simular los diferentes comportamientos de los componentes de la CS y proponer la intervención de diferentes escalas de simulación: El modelado de paradigmas múltiples se relaciona a la capacidad de modelar tanto un nivel relativamente alto de descripción como un nivel bajo, esto como resultado de los comportamientos de las entidades la CS.

La metodología para modelar y simular la CS propuesta pretende distinguirse de las propuestas de Govindu & Chinnam (2007) y Long (2014) al considerar tanto las etapas de análisis, diseño, desarrollo y simulación.

4.2 Descripción de la metodología propuesta

La metodológica para modelar cadenas de suministro integrando el enfoque de agentes y el modelo SCOR involucra la etapa de análisis resultado de la recopilación de datos; la etapa de estandarización de las actividades de la CS para la definición del modelo; la etapa de diseño y etapa de desarrollo concluye con la construcción y validación del modelo multi-agente implementado en una plataforma de simulación; y la etapa de simulación implica la definición de las configuraciones del sistema y el análisis de los datos de salida. Las relaciones entre ellos se muestran en la Figura 4.2.

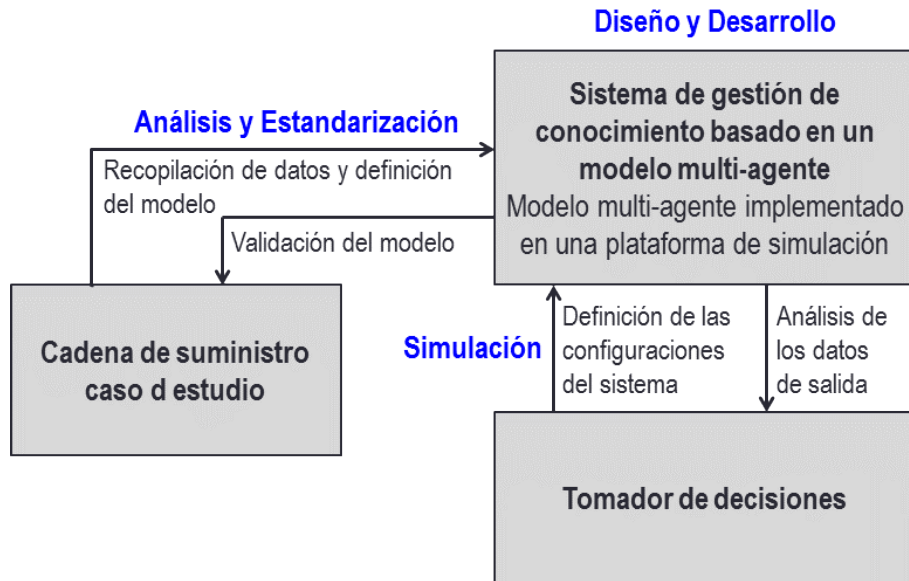


Figura 4.2 Metodología general

La etapa de análisis involucra el desarrollo del modelo estructural de la CS, el cual identifica la estructura de los actores de la CS y la secuencia de procesos de transformación requeridos para entregar el producto final mediante la recopilación de datos. Esto se refiere a recopilar y

analizar información sobre los procedimientos operativos del caso de estudio y la lógica de control que se utiliza para formular las reglas de toma de decisiones.

La etapa de estandarización comprende la estandarización de los procesos de la CS con base en el enfoque de modelado de procesos del modelo SCOR. Desde un enfoque de gestión de la CS orientado a procesos, se utilizan procesos comerciales inter-funcionales para estructurar las actividades entre los miembros de una CS (Lambert & García-Dastugue, 2005). La CS puede representarse, analizarse y configurarse mediante la aplicación del modelo de referencia *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) desarrollado por el *Supply Chain Council* (Persson, 2011). La descripción de las cadenas de suministro se realiza utilizando estos bloques de construcción de procesos, desde redes simples hasta complejas, utilizando un conjunto común de definiciones de métricas de rendimiento, procesos, mejores prácticas y las habilidades necesarias para llevar a cabo los procesos de la CS. El modelo SCOR tiene una visión general de la CS, viéndola como algo que va desde los proveedores hasta los clientes e incorpora los aspectos financieros, organizativos y sociales del desempeño (Estampe, Lamouri, Paris, & Brahim-djelloul, 2013). A través de un estudio exploratorio, Lockamy III & McCormack (2004) investigó la relación entre las prácticas de planificación de la gestión de la CS y el rendimiento de la CS en base a cuatro áreas de decisión proporcionadas en SCOR: planificar, abastecer, fabricar y entregar. Los autores declararon que los procesos de planificación son importantes en todas las áreas de decisión de planificación de la CS de SCOR.

Para el SGC, el enfoque orientado al proceso SCOR se utiliza para representar las actividades de la CS agroalimentaria en el marco del modelo SCOR para construir un diagrama del proceso SCOR de nivel tres del estado futuro deseado (“*to-be*”) (Bolstorff & Rosenbaum, 2007), a partir del análisis del estado actual (“*as-is*”) de los procesos de la cadena.

La etapa de diseño implica la reformulación del mapa de los procesos estandarizados con el enfoque basado en agentes inteligentes de acuerdo a las siguientes actividades: 1) definición del marco de referencia para la CS agroalimentaria utilizando el enfoque de modelado multi-agente; 2) definición del número y tipo de agentes inteligentes que modelarán la CS, distinguiendo entre agentes de decisión y agentes operativos; 3) definición de las especificaciones de la funcionalidad de los agentes inteligentes; y 4) desarrollo de las técnicas de soporte a la decisión para los agentes decisión.

La etapa de desarrollo involucra la traducción de la funcionalidad de los agentes en el lenguaje del software de simulación multi-método AnyLogic® para la construcción del modelo de simulación multi-agente. Una vez que el modelo está construido y verificado, el proceso de validación compara los resultados de simulación con los datos reales.

La etapa de simulación implica la implementación de las técnicas de soporte a la decisión para los agentes decisión y la utilización del modelo de simulación por los tomadores de decisiones

de acuerdo a un de escenarios experimentales. El modelo de simulación multi-agente se utiliza para apoyar la toma de decisiones del caso de estudio a través de simulaciones repetidas. El SGC permite al tomador de decisiones establecer parámetros de forma iterativa y definir las configuraciones del sistema, ejecutar simulaciones y analizar los datos de salida para generar estrategias para implementar las decisiones.

Las Secciones 4.3 a 4.7 describen la aplicación de la metodología propuesta en la CS agroalimentaria y la Sección 4.8 presenta la explicación de la metodología en la CS humanitaria.

4.3 Etapa 1. Análisis

La producción de café verde se caracteriza generalmente por la necesidad de mejorar la gestión de las prácticas agrícolas y la implementación de la tecnología de producción, que está relacionada con el rendimiento y la calidad de la producción de café en cafetales con un rendimiento promedio de 2408 hectogramos por hectárea (hg/ha), frente a 5333 a 25,487 hg/ha reportados por los ocho países con mayor productividad (FAO, 2019).

La CS agroalimentaria caso de estudio es la CS de café verde. La CS de café verde comprende cuatro eslabones, desde el cultivo del café cereza hasta el café verde procesado: i) productores de café cereza; ii) productores de café pergamino; iii) productores de café verde; y iv) tostadores de café verde. Los actores de la CS de café verde se describen a continuación y se representan en el modelo estructural de la Figura 4.3

Los proveedores de segundo nivel son los cultivadores de café de cereza. En este escalón, el cultivo y la cosecha del café de cereza se llevan a cabo en las plantaciones de café. En la región donde se encuentra la cadena de estudio de caso, hay un gradiente altitudinal desde el nivel del mar hasta más de 3000 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio anual varía de 12 ° C a 24 ° C, los suelos de café de la región se pueden clasificar como adecuados, medios y no aptos y la precipitación anual oscila entre 1000 y 3000 mm (Hernández et al., 2013). Estas características geo-agro-climáticas proporcionan un mosaico muy variado donde en cada una de las regiones se pueden encontrar sitios de alto, medio y bajo potencial, tanto de producción como de calidad de café. Respecto a las prácticas agrícolas en esta región, Hernández et al. (2013) afirman que los productores generalmente no tienen regulaciones o recomendaciones sobre el uso de diferentes variedades de café disponibles para ellos, el cultivo del análisis del suelo es prácticamente inexistente. La fertilización química se lleva a cabo a través de recomendaciones de otros productores, por conveniencia económica y, en algunos casos, por recomendación de una empresa comercial de agroquímicos. Además, los autores afirman que existe un cultivo de control de la densidad de plantación con machete, dejando la cobertura vegetal para evitar la erosión. Sin embargo, las experiencias negativas se registran con el uso de herbicidas tanto para el envenenamiento en el personal que aplica el

producto como para la degradación de los suelos con el uso frecuente, lo que ha generado una postura de uso reservado del pesticida. Por lo tanto, no hay experiencias de uso de pesticidas para controlar plagas o enfermedades del café. En cuanto a la poda de cafetos, las prácticas incluyen la poda sanitaria. Finalmente, los autores informan que los productores no tienen un plan de manejo plurianual para el tejido de las plantas, incluida la renovación.

La cosecha se refiere al corte de café cereza maduro, con el corte de los frutos en estado maduro, el peso se gana en la escala en el proceso de venta, el proceso de beneficio se facilita y la pérdida de producción se reduce cuando se prepara el café verde. , y se gana calidad organoléptica. El café cereza es la forma de venta más frecuente con un recolector de intermediarios local o industrial, donde se lleva a cabo el proceso de obtención de beneficios húmedos. El café cereza se transporta en sacos de plástico o lonas que se usan generalmente en la alimentación del ganado o en granos diversos.

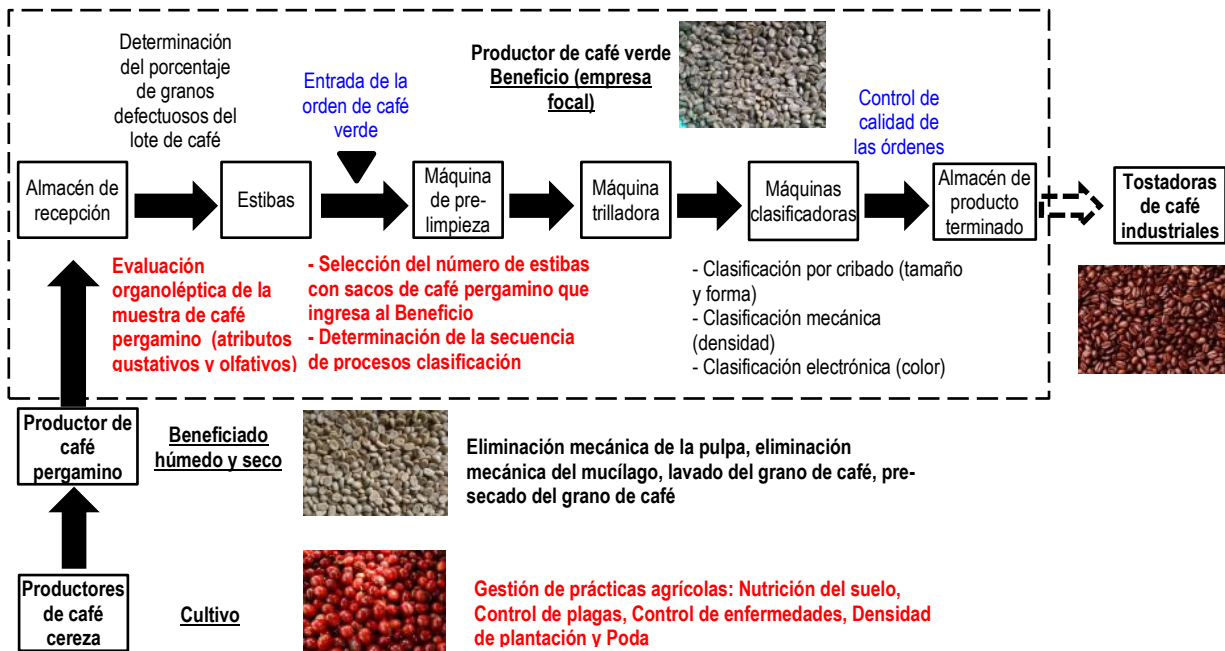


Figura 4.3 Modelo estructura de la CS agroalimentaria caso de estudio
 Fuente: Adaptado de Hernández, Escamilla, Velázquez, & Martínez (2013)

El proveedor de primer nivel es el productor de café pergamino, intermediario local e industrial que lleva a cabo el proceso de beneficio húmedo. El proceso de beneficio húmedo consiste en eliminar mecánicamente la pulpa (exocarpio) del café cereza en presencia de agua o sin ella, y luego, ya sea por i) la eliminación del mucílago (mesocarpio) por fermentación o método mecánico, seguido del lavado. para obtener café en pergamino, o ii) secado directo de los

granos sin pulpa dentro del pergamino mucilaginoso seguido de trilla para producir café verde semi-lavado. Luego, secar los granos de café ya sea por el efecto combinado de la luz solar y la aireación o las máquinas de secado, para obtener café en la cáscara. El tiempo de secado es variable en cada uno de los métodos, siendo el objetivo en cualquier caso que la humedad en el grano de café alcance el parámetro de 11.5-12.5%. El producto final del proceso de procesamiento en húmedo se llama café pergamino; un nombre obtenido por la cáscara fibrosa como pergamino, que cubre el grano al final del proceso. El almacenamiento se realiza en almacenes que utilizan principalmente bolsas de yute. El proceso de comercialización del café pergamino se lleva a cabo principalmente entre productores individuales, o a través de sus organizaciones, hacia exportadores industriales, que lo venderán en los mercados nacionales e internacionales.

La empresa focal es un productor de café verde industrial que almacena y distribuye tanto a nivel regional como nacional. En este eslabón, se lleva a cabo el proceso de beneficio seco. En el proceso de beneficio seco, el café en pergamino recibido y clasificado se trilla para liberar el grano de café verde, para luego ser clasificado por su tamaño, densidad y color, además de ser limpiado de objetos extraños. En el proceso de trilla, el endocarpio seco se retira del café pergamino para producir café verde. El proceso de beneficio seco comienza con la recepción de café pergamino donde se toma una muestra del café para realizar una evaluación organoléptica y una revisión física. La evaluación organoléptica de la muestra de café es el proceso de evaluación sensorial de los granos de café. En este proceso, se lleva a cabo el tostado y molido de una muestra de café pergamino, se prepara una infusión de la muestra de café tostado y molido en agua recién hervida, a partir de la cual se evalúan las características gustativas y olfativas del grano, como el sabor, el cuerpo, el aroma y la acidez. En el análisis físico, los defectos se identifican visualmente; los defectos se refieren a granos de café de forma irregular y granos de café de apariencia irregular. La decisión de compra depende de los resultados de estas evaluaciones. Si se compra el café, se lleva a cabo la clasificación de la calidad de entrada del café, es decir, se determina el porcentaje de granos defectuosos en el lote de café, y luego, el lote se apila en paletas en el área de almacén designada para cada tipo de café. Luego, en el proceso de limpieza previa, el café ingresa a la máquina de limpieza previa, donde se eliminan los materiales extraños de un origen diferente al café. Después del proceso de limpieza previa, se realiza el proceso de trilla. La limpieza previa es la operación tecnológica utilizada para reducir el porcentaje de humedad del café pergamino a un nivel de 10 a 12.5%, lo que permite la trilla en condiciones técnicas satisfactorias. En el proceso de trilla, el endocarpio seco se retira del café pergamino del café natural para producir café verde. En la entrada de la trilladora, hay un punto de control de calidad en el que se eliminan los metales que podría llevar el café pergamino. Finalmente, el proceso de clasificación es la operación tecnológica utilizada para eliminar materia extraña, fragmentos de café y granos defectuosos de café verde, y para separar los granos de café saludables según su forma, tamaño y peso. La maquinaria, el trabajo manual o la combinación de ambos pueden ser variables, pero en general, los métodos de este proceso se clasifican en: clasificación por tamiz, clasificación por vibración-gravedad,

clasificación neumática y clasificación óptica. El resultado del proceso es la producción de café verde, con un porcentaje de granos defectuosos en un lote de café llamado porcentaje de mancha, y la composición del tamaño de grano definido. En los clasificadores por tamiz, la cáscara y la mancha se separan a través de un abanico, donde se discrimina el café que no tiene el peso adecuado. En los clasificadores por vibración-gravedad, el café se clasifica por tamaño y forma, separándolo en primero, segundo, tercero, cáscara, pellet (cantidad de granos de café rotos) y cereza seca. En los clasificadores neumáticos, el café se clasifica por peso en primero, segundo y tercero, y también se eliminan las piedras y palos de menor tamaño. En los clasificadores electrónicos, el café se clasifica por color, eliminando principalmente el grano negro y amarillo, por un sistema óptico computarizado que elimina los granos de color indeseables, de acuerdo con los estándares de preparación y calidad requeridos. Los pedidos de café verde de clientes mayoristas (tostadores de café industriales) requieren procesamiento solo en algunos procesos de clasificación o en una secuencia determinada de estos (clasificación neumática, clasificación óptica y clasificación por tamizado). La decisión de la programación del proceso de clasificación se basa en i) el tamaño de la orden de café verde y su requerimiento de porcentaje de manchas, y ii) el porcentaje de granos defectuosos como resultado del análisis físico de las entradas de café de pergamino necesarias para completar el pedido del cliente mayorista. Si no se cumplen los requisitos del pedido del cliente, surgen dos consecuencias. El primero consiste en la reentrada del lote de café a otra secuencia de procesos de clasificación, lo que genera un reprocesamiento. La segunda consecuencia se refiere a un procesamiento excesivo del grano de café cuando se excede la calidad que el cliente está dispuesto a pagar, lo que resulta en el almacenamiento del lote de café o su venta a un precio más bajo.

4.4 Etapa 2. Estandarización

Se ajustaron las actividades de la CS de café verde en el marco del modelo SCOR para construir un diagrama del proceso SCOR de nivel 3 del estado futuro deseado (“*to-be*”), a partir del análisis del estado actual (“*as-is*”) de los procesos de la cadena. Para los actores de la CS de café verde, el estado “futuro” del alcance del estudio actual abarca los siguientes procesos.

La Figura 4.4 representa los elementos de proceso de nivel tres que comprenden el proceso de fabricación por pedido en el productor de café verde. Las unidades organizativas involucradas en el refinamiento del café pergamino son el proveedor de café pergamino, los departamentos internos del productor de café verde y la tostadora de café verde. Los procesos de entrega de café de pergamino y obtención de café pergamino de nivel uno están relacionados por medio de una conexión cliente-proveedor que refleja la relación temporal entre ellos y que el proceso anterior tiene un enlace de elemento contenedor con una instancia del proceso de nivel D1. Además, la instancia del proceso de nivel dos M2, que está planificada por una instancia del

proceso de nivel dos P3, se compone de cuatro instancias de elementos de proceso de nivel tres.

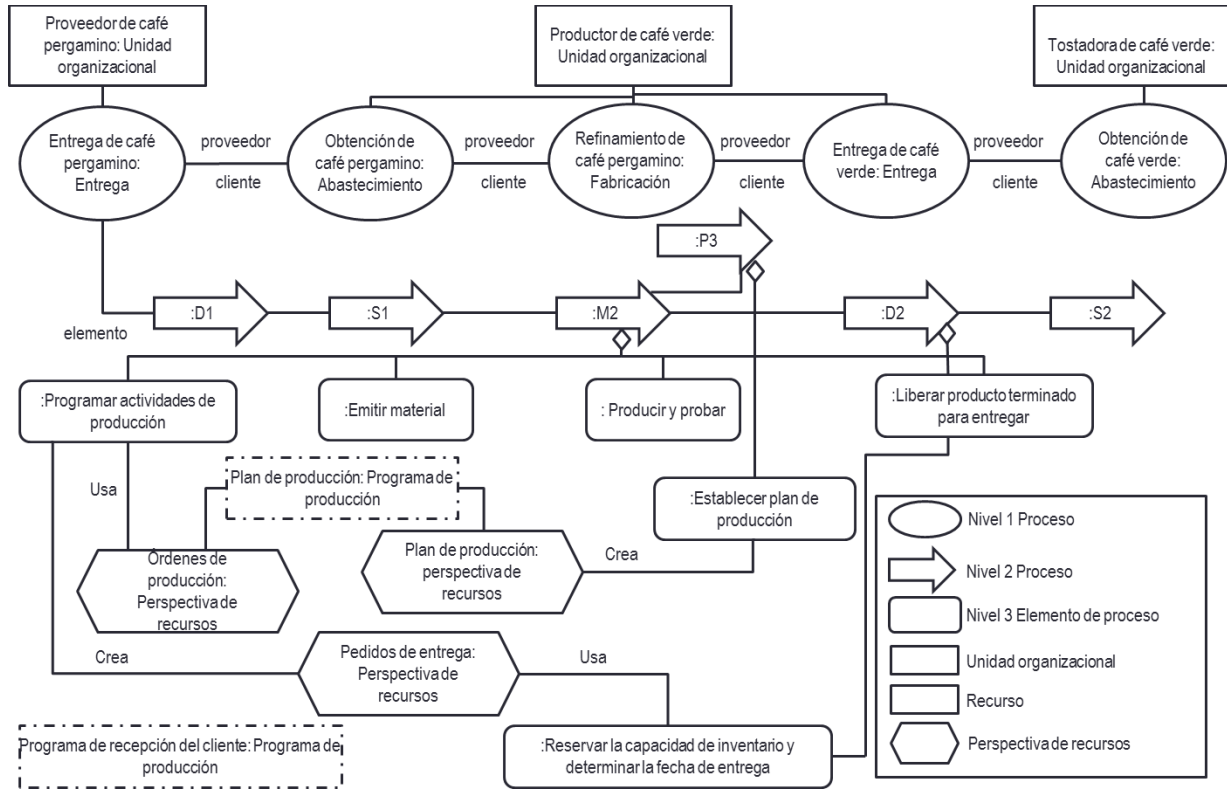


Figura 4.4 Elementos de proceso de nivel tres del modelo SCOR - Proceso de fabricación por pedido en la empresa focal

Con respecto a los elementos del proceso, la Figura 4.4 muestra algunos de los recursos creados y utilizados por ellos; por ejemplo, Plan de producción y Programa de recepción del cliente, que son instancias de la clase Programa de producción. El primero es creado por la instancia del elemento de proceso Establecer plan de producción, un elemento de un proceso de nivel dos P3, y utilizado por la instancia de Actividades de producción programadas. Cada uno de estos dos procesos percibe el recurso del Plan de producción desde una perspectiva diferente; dos instancias de la clase Perspectiva de recursos, denominadas Órdenes de producción y Plan de producción. Del mismo modo, la perspectiva del recurso Pedidos de entrega se presenta para el recurso Programa de recepción del cliente, creado por la instancia de Actividades de producción programada, y es usado por la instancia de Capacidad de

inventario de reserva y determinación de la fecha de entrega, un proceso de nivel tres elemento correspondiente al proceso D2 nivel dos.

4.5 Etapa 3. Diseño

4.5.1 Introducción

Desde una perspectiva de simulación basada en agente, Handayati, Simatupang, & Perdana (2015) identificó la creación conjunta de valor en una CS agroalimentaria sostenible, entendiendo la sostenibilidad como una integración de las dimensiones morales, ecológicas, técnicas, económicas y sociales de la actividad humana. (Zimon & Domingues, 2018): (1) planificación: selección de insumos agrícolas, programación de cultivos y cosechas, demanda y precio más seguros, oferta más segura; (2) cultivo y cosecha: cumplimiento de los requisitos de los exportadores y buenas prácticas agrícolas; (3) post-cosecha y distribución: buen manejo de post-cosecha, sistema de almacenamiento en frío para mantener la frescura del producto agrícola; y (4) consumo: cumplimiento de los requisitos del cliente.

En cuanto al análisis de rendimiento de café, Espinosa-Solares, Cruz-Castillo, Montesinos-López, & Hernández-Montes (2005) en un estudio de dos años en México, encontraron que el rendimiento del café cereza se ve más afectado por las características del cultivo que por la fecha de cosecha. Por su parte, el estudio de Bosselmann et al. (2009) demostró que los árboles de sombra no deben plantarse con el propósito de mejorar la calidad de las bebidas en los sistemas agroforestales de café de pequeños productores en el sur de Colombia.

Para la clasificación de calidad en la CS de café verde, la evaluación del café verde se centra en la acidez, el cuerpo y la ausencia de defectos (Feria-Morales, 2002). En sus trabajos, Livio & Hodhod (2018) y Livio, Flores, Hodhod, & Umphress (2018) desarrollaron un sistema experto difuso para la evaluación sensorial de los atributos del grano de café para obtener una calificación de calidad que comprende 11 atributos: fragancia, sabor, regusto, acidez, cuerpo, uniformidad, equilibrio, taza limpia, dulzura, en general y defectos. Los resultados de las pruebas del sistema mostraron el 95% de los resultados concordantes en comparación con las evaluaciones de los expertos. Flores & Pineda (2016) también presentó un sistema experto de lógica difusa con el objetivo de capacitar a cafeteros hondureños; los resultados de las pruebas del sistema muestran el 97% de los resultados concordantes que evalúan los atributos de preparación, aroma, sabor, sabor y cuerpo.

En el entorno industrial, la adopción de soluciones basadas en agentes, la programación y la reprogramación en tiempo real son cada vez más importantes (Mařík & McFarlane, 2005). El programa maestro de producción tiene que lidiar con las fluctuaciones estacionales de la demanda y calcular un marco para las cantidades necesarias de horas extras, mientras que la

planificación de la producción a corto plazo comprende la determinación de los tamaños de lote de acuerdo con sus fechas de vencimiento y la capacidad disponible con precisión (Fleischmann, Meyr, & Wagner, 2002). Hay dos elementos básicos en este enfoque (Vieira, Herrmann, & Lin, 2003): (i) los algoritmos de programación se utilizan para generar programas iniciales y reparar programas obsoletos y (ii) las políticas de control se utilizan para ajustar la frecuencia de reparación de un programa. Teniendo en cuenta estas políticas de control desde el enfoque de modelado y simulación basado en agentes, un agente adaptativo es capaz de modificarlas durante una simulación basada en circunstancias cambiantes. (Swaminathan, Smith, & Sadeh, 1998). En consecuencia, el enfoque de control adaptativo se basa en el control de un conjunto de indicadores de desempeño de un sistema mediante un modelo de decisión que los analiza y selecciona una política de control adecuada. Para la planificación de la CS, este enfoque se relaciona con un cambio parcial o incluso completo de un plan previamente aceptado desencadenado por un nuevo evento, como la llegada de un nuevo pedido, la cancelación de pedidos ya asignados, la disponibilidad de un nuevo recurso, una falla de los existentes recursos o cambios en los objetivos de la cadena (Rzevski et al., 2007).

4.5.2 Marco de referencia para la CS agroalimentaria

En referencia a la CS agroalimentaria, se propone un marco de referencia basado en el enfoque de agentes inteligentes, el cual involucra a los actores de la CS agroalimentaria, así como las interacciones, flujos y acciones entre estos. El objetivo de este marco de referencia es soportar la identificación y el establecimiento de la funcionalidad de los agentes inteligentes que modelan la CS agroalimentaria, esto desde un enfoque reusable y escalable. La propuesta parte de la revisión de literatura referente a marcos de referencia sobre cadenas de suministro de productos agrícolas perecederos junto con el análisis de literatura acerca del enfoque de agentes inteligentes.

En primera instancia, los actores de la CS agroalimentaria y el rol que desempeñan en la comercialización de un producto agrícola perecedero se describe a continuación:

- **Proveedor/productor:** Entidad agrícola que puede considerarse como una granja o parcela de donde se obtiene el producto agrícola a analizar y se interesa en la comercialización o venta del producto de una manera eficiente, confiable y sin retardos, puesto que al ser productos de tipo perecedero tienden a descomponerse.
- **Vendedor:** Cooperativas agrícolas, negocios agrícolas, compañías de comida, mayoristas y exportadoras se pueden considerar como vendedores. Está interesado en vender los productos agrícolas después de su cosecha y que son provenientes de los productores.
- **Mayorista:** Exportadoras, importadoras, vendedores, productores, compradores, intermediarios, corredores, distribuidores, cooperativas agrícolas, subastadores y

comisionistas pueden considerarse como mayoristas. Tiene el cargo de intermediar la prestación de servicios entre la oferta y la demanda de extremo a extremo.

- Comprador: Minorista, supermercado, negocios agrícolas, compañías de comida, cooperativas agrícolas e importadoras. Interesado en su totalidad en la compra efectiva de productos agrícolas procedentes de los productores, vendedores o mayoristas, para después revender los productos a los consumidores.
- Consumidor: Compra productos agrícolas procedentes de los productores o compradores. Se puede distinguir este participante como individual o colectivo, tal es el caso de restaurantes, hoteles y hospitales.
- Firma transportista: Distribuye los productos agrícolas procedentes de los productores, vendedores o mayoristas a los compradores. Se incluyen como participantes a empresas locales, medianas transportistas y grandes transportadoras.

En el marco de referencia para la CS agroalimentaria se consideran los actores consumidor (comprador o consumidor), proveedor (productor o vendedor), mayorista, firma transportista, proveedor de comunicaciones y negociaciones, y entidades normativas y entidades financieras. La particularidad del marco de referencia para productos agrícolas radica en introducir las entidades normativas a lo largo de la CS, los negociadores, así como entidades gremiales y financieras que tienen impacto en la sincronía de la CS para productos perecederos agrícolas y forman parte del sistema de trazabilidad de los productos. Considerando las aportaciones de Karetzos, Costopoulou, Lambrou, & Zorkadis (2002) se propone un marco de referencia para modelar la CS agroalimentaria con el enfoque de agentes inteligentes, en torno a los procesos de abastecimiento, producción, negociación, importación, exportación, y distribución. Los actores, los agentes, las interacciones, los flujos y los factores comprendidos en el marco de referencia se representan en la Figura 4.5.

El marco de referencia tiene como objetivo soportar la definición de un conjunto de funcionalidades genéricas para los actores de la CS agroalimentaria modelada con el enfoque de agentes inteligentes, esto desde una perspectiva independiente e interoperable considerando los atributos de apertura, modularidad, escalabilidad y reusabilidad. Este marco considera también el flujo de producto y procesos, el flujo de información, y los momentos de decisión que resultan de la interacción entre los agentes y actores de la CS.

Los momentos de decisión tiene que ver con el manejo de condiciones climáticas, selección de prácticas agrícolas y en todos los procesos para llegar a obtener una calidad deseada, negociación con proveedores y clientes, selección de procesos productivos para añadir valor agregado al producto y estimación de precios de compra-venta dentro de la empresa de transformación, lo anterior se debe al alto grado de complejidad y alta presencia de subjetividad (experticia) en los procesos de decisión.

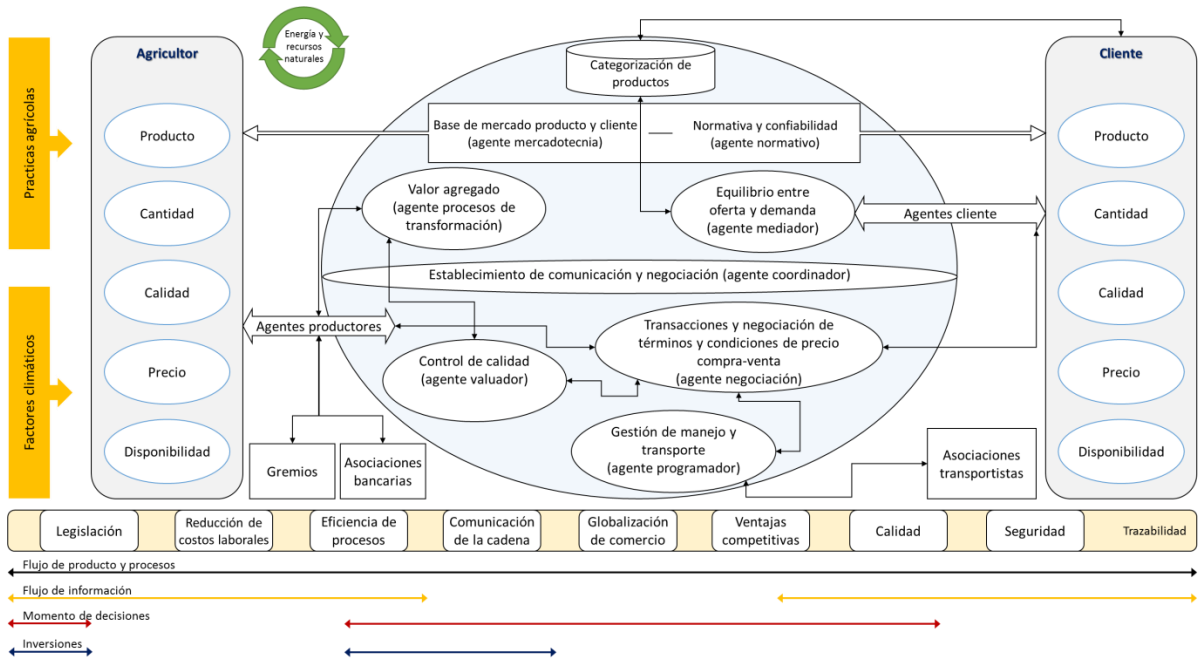


Figura 4.5 Marco de referencia para el modelado de la cadena agroalimentaria utilizando el enfoque de agentes

A continuación se expone la funcionalidad de los agentes inteligentes y los actores que integran la CS agroalimentaria de acuerdo al marco de referencia propuesto.

a) Agentes:

- Agente consumidor: Cada consumidor (comprador o consumidor) tiene un agente personal, el cual es responsable de las consultas y del seguimiento de los resultados de búsqueda de mercados (productores o vendedores). Este agente tiene capacidad de mejorar patrones de búsquedas, priorizar preferencias de cliente, y monitorizar el seguimiento de pedidos. Cada consumidor o comprador maneja siempre aspectos como el tipo de producto agrícola adquirido, cantidad de producto agrícola adquirido, calidad de producto, precio de adquisición, y disponibilidad actual para consumo.
- Agente proveedor: Cada proveedor (productor o vendedor) tiene igualmente su propio agente personal que se encarga de reportarle las órdenes de los productos disponibles en el sistema, así mismo los agentes informan al proveedor el tipo de relación comercial con sus clientes, el estado de negociación y transacciones. Cada proveedor tiene siempre presente aspectos como el tipo de producto cultivado, cantidad de producto cultivado (rendimiento por hectárea), calidad de producto, precio de venta, y disponibilidad de oferta.
- Agente mercadotecnia: Este agente tiene la responsabilidad de promover los productos agrícolas procedentes de los proveedores a los posibles clientes o consumidores de extremo a extremo de la CS. En otro aspecto, el agente tiene la capacidad de informar a

los proveedores aspectos comerciales de sus clientes como preferencias de productos, localización, actividades de compras, oportunidades de nuevos mercados, entre otros.

- Agente normativo: Todos los productos agrícolas se consideran de carácter alimenticio, por lo que se tiene que considerar regulaciones federales, estatales, regionales y de clientes para el cultivo, procesamiento, limpieza y distribución de productos; así mismo este agente se encarga de verificar y hacer cumplir las normativas internacionales para manejo, empaque, inocuidad y medios de exportación de productos agrícolas. Este agente tiene la responsabilidad de hacer cumplir las normativas presentes a lo largo de la CS para productos agrícolas, teniendo también en consideración aquellas regulaciones por parte de gremios o cooperativas agrícolas regionales o nacionales.
- Agente coordinador: Este agente tiene la función de mantener siempre una relación fluida y precisa para aspectos de comunicación entre procesos, departamentos y demás actores en cuanto sea posible abarcar a lo largo de la CS. Así mismo el agente coordinador tiene la tarea de mantener un equilibrio en las metas globales que la CS agrícola se fije a corto o largo plazo, de manera que se cumplan con objetivos particulares en los actores o agentes involucrados y se alcancen las metas generales.
- Agente mediador: Encargado de mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda, colabora con el agente mercadotecnia para la promoción de productos agrícolas a clientes. Este agente se encarga de no ofertar más de lo debido de acuerdo a la capacidad instalada de la empresa y el rendimiento por hectárea de los productores, así mismo busca mantener buenos volúmenes de venta.
- Agente negociación: Tiene la responsabilidad de monitorizar bolsas de valores específicas de acuerdo al tipo de producto agrícola a comercializar con el objeto de establecer precios de compra y venta para realizar transacciones con proveedores y clientes. Este tipo de agente puede ser autorizado para negociar los términos y condiciones en transacciones de negocio en relación con el intercambio de productos y su pago; los términos que tienen que ser discutidos son en relación con protocolos de entrega, políticas de devolución, crédito, plazos de pago, instrucciones de pago, facturación, pagos de contado, métodos de resolución de conflictos, garantías, entre otros.
- Agente valuador: De acuerdo a características físicas y/o procesos sensoriales a los productos agrícolas, se determina un grado de calidad específico del producto para posteriormente con ayuda del agente procesos de transformación, determinar la mejor combinación de procesos que ayude a mejorar aspectos de calidad que satisfagan al cliente.
- Agente procesos de transformación: Se encarga de seleccionar y realizar la mejor combinación de procesos productivos necesarios para cumplir con las características del cliente con el menor uso de recursos de la empresa, inclusive tiene la capacidad de

mejorar aspectos del producto agrícola para venderse a mayor precio de acuerdo al mercado meta.

- Agente programador: Posterior a una satisfactoria negociación con los clientes este agente tiene la capacidad de programar la secuencia de las ordenes a surtir de acuerdo a niveles de inventario y capacidad de producción, además puede administrar un correcto manejo de materiales y productos con el objeto de transferirlos en el menor tiempo posible, ya sea dentro de la empresa o de manera externa mediante empresas transportistas.

b) Actores y elementos:

- Asociaciones bancarias: Esta entidad está enfocada en la gestión de transacciones monetarias, es un elemento extraordinario que se solicita por cualquier miembro de la CS como medio de financiación de dinero para inversión o cubrir contingencias. Provee información sobre procesos de transacciones a través de la interacción de con los clientes, proveedores y empresa mediante sus agentes.
- Firmas transportistas: Entidades especializadas en transporte que se encuentran presentes en la CS, se encargan de mover productos agrícolas de acuerdo a especificaciones de clientes y normativas de inocuidad. Trabaja en colaboración con el agente normativa y agente programador para determinar condiciones de entrega y manejo de productos de acuerdo al tipo de cliente.
- Gremios: Son agrupaciones de agricultores que regulan su comportamiento laboral mediante estatutos establecidos en consenso. Este tipo de entidades puede llegar a ser tanto benéfico como perjudicial a la CS dependiendo de las ideologías y metas de los agricultores.
- Factores climáticos: Los aspectos medioambientales (cantidad de precipitación fluvial, cantidad de luz solar, cantidad de viento, etc.) están presentes en todo tipo de cadenas agrícolas del mundo y no se tiene control sobre ellos, por lo que se le considera como factores inciertos. Hasta el momento sólo se puede llegar a predecir cantidad y calidad de productos agrícolas de acuerdo a una combinación de factores climáticos presentes.
- Prácticas agrícolas: Son formas de proceder en el cuidado de cultivos de los agricultores. Se sabe que cada agricultor tiene una serie de actividades que repercute en la calidad y rendimiento del cultivo de producto agrícola como lo son el uso de nutrientes, control de plagas, control de enfermedades, uso de fertilizantes, entre otros.
- Trazabilidad: Se concibe como la información necesaria para describir la historia de producción de un producto y algunas subsecuentes transformaciones o procesos de valor agregado desde el agricultor hasta el consumidor final. La trazabilidad ayuda a minimizar la producción y distribución de productos no seguros o de mala calidad, minimizando así el potencial de mala reputación, responsabilidad y reclamos. Los gremios al igual que los agentes de las cadenas de suministro agrícolas se preocupan arduamente por aspectos de inocuidad, seguridad y calidad de sus productos, llegando

a convertir la trazabilidad como una herramienta de apoyo en la garantía de la seguridad alimentaria con el objeto de conseguir la confianza del cliente. En cadenas agrícolas existe un número de factores o conductores que hacen cumplir la trazabilidad como una técnica para responder las preguntas cruciales de ¿Quién? (actor/productor), ¿Qué? (actor/productor/información), ¿Cuándo? (tiempo), ¿Dónde? (localidad), y ¿Por qué? (causa o razón), con respecto a la inocuidad, calidad, procedencia y seguridad de los alimentos. Los factores o conductores de la trazabilidad son: legislación (requerimientos de seguridad y calidad), reducción de costos laborales (eficiencia dirigida, metas), eficiencia de procesos de CS (transparencia e interoperabilidad), comunicación de la cadena (retroalimentación, disputas, enlaces, reclamaciones), globalización de comercio (requerimientos de comercio específico regional o nacional), ventajas competitivas (protección de marca, valor agregado, diferenciación), calidad (calidad de producto, servicios de garantía, certificaciones) y seguridad (alimentos peligrosos, contaminación, prevención de accidentes).

4.5.3 Descripción de los agentes para la CS de café verde

Derivado del mapeo de las actividades de la CS de café verde en el modelo SCOR y el marco de referencia para la CS agroalimentaria utilizando el enfoque de agentes, los agentes y actividades identificados para la CS de café verde se enumeran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Agentes y actividades para la CS de café verde

Agente	Actividades	Tipo de actividad
Agente Producción productor café cereza (Agente PCC)	Producción	Decisión
Agente Entrega productor café cereza (Agente ECC)	Satisfacción de la demanda del cliente	Operativa
Agente Abastecimiento productor café pergamino (Agente ACP)	Abastecimiento de productos	Operativa
Agente Entrega productor café pergamino (Agente ECP)	Satisfacción de la demanda del cliente	Operativa
Agente Abastecimiento productor café verde (Agente ACV)	Abastecimiento de productos Verificación de productos	Decisión
Agente Producción productor café verde (Agente PCV)	Planeación de la producción Producción	Decisión
Agente Inventario productor café verde (Agente ICV)	Actualización del inventario	Operativa
Agente Reprogramación productor café verde (Agente RCV)	Actualización del plan de producción	Decisión
Agente Entrega productor café verde (Agente ECV)	Satisfacción de la demanda del cliente	Operativa
Agente Mercado tostadora de café verde (Agente MCV)	Colocación de la orden	Operativa

Para los productores de café cereza, *M1.3 Producir y probar* incluye las actividades que agregan valor a los productos haciendo que la materia prima pase por varias actividades, en esta investigación se refiere al rendimiento de crecimiento del café cereza en una plantación de café; *M1.6 Liberar producto terminado para entregar* se relaciona con el proceso de cosecha y *D1 Entregar el producto almacenado* se relaciona con la satisfacción de la demanda del mercado. Para el productor de café pergamino, *S1.2 Recibir producto* se refiere al proceso y las actividades asociadas de recibir lotes de café cereza de los productores; en este caso, *M1.3 Producir y probar* representa el proceso de beneficio húmedo en un intermediario industrial y evalúa el volumen de café cereza para determinar los lotes de café pergamino de acuerdo con el tipo y porcentaje de granos de café defectuosos. Las diferentes etapas del proceso de beneficio húmedo incluyen la recepción y abastecimiento del café cereza, la extracción mecánica de la pulpa, la eliminación mecánica del mucílago, el lavado del grano de café, el secado del grano de café y la clasificación del café pergamino; y *M1.6 Liberar producto terminado para entregar* se refiere a la determinación de la calidad del lote de café pergamino y *D1 Entregar el producto almacenado* se relaciona con la satisfacción de la demanda del mercado.

Para el productor de café verde, *S1.2 Recibir producto* se refiere al proceso y las actividades asociadas de recibir café pergamino del productor; la cantidad de café recibido está definida por *S1.1 Programar entregas de productos*. *S1.3 Verificar producto* se relaciona con el proceso y las acciones requeridas para determinar la conformidad del producto con los criterios de compra, en este caso, tanto una evaluación organoléptica como una revisión física de la muestra de café pergamino. Después de la calificación de calidad de entrada de café, en *S1.4 Transferencia de producto*, el lote de café aceptado se apila en estibas en el área de almacén designada para cada tipo de café.

P3 Planeación de la fabricación comprende el establecimiento de cursos de acción durante períodos de tiempo específicos que representan una apropiación proyectada de los recursos de producción para cumplir con los requisitos de producción, mientras que *M2.1 Programar actividades de producción* tiene el propósito de programar las actividades, en este caso, los procesos de *M2.3 Producir y probar*: limpieza previa de granos de café, trilla de granos de café, clasificación de granos de café y control de calidad de pedidos de clientes de café verde. *M2.2 Emitir material* se refiere a la selección de entradas de café pergamino del almacén. El registro de disponibilidad de inventario determinará los lotes de café que se emitirán para respaldar las operaciones de producción. Finalmente, y *M1.6 Liberar producto terminado para entregar* se refiere a la determinación de la calidad del lote de café verde y *D2 Entregar el producto por pedido* se relaciona con la satisfacción de la demanda del mercado. Para los tostadores de café industriales, *S2.1 Programar entregas de productos* coloca el pedido de café verde.

4.5.3.1 Reglas de toma de decisiones para los agentes decisión

Los agentes de apoyo a la decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para cumplir con las decisiones: (i) para el Agente Producción productor café cereza (Agente PCC), la decisión con respecto a la estimación del rendimiento del café de cereza obtenido en la plantación de café, utilizando un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces; (ii) Agente Abastecimiento productor café verde (Agente ACV), la decisión de verificación de la muestra de café pergamino, utilizando un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces; (iii) para el Agente Producción productor café verde (Agente PCV), la decisión de establecimiento del plan de producción, utilizando un enfoque de reglas de toma de decisiones basado en la integración de un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces y la representación basada en ecuaciones por medio de un modelo de programación entera mixta con el objetivo de maximizar el nivel de servicio al cliente y (iv) para el Agente Reprogramación productor café verde (Agente RCV), la decisión de actualización de producción del plan, utilizando ecuaciones matemáticas una vez que el nivel de servicio al cliente cae por debajo del nivel esperado.

Las opiniones divergentes de los expertos se representan como números triangulares y trapezoidales borrosos, que describen el conocimiento codificado de la experiencia de los actores de la CS de café verde. En consecuencia, un modelo Mamdani codifica los criterios de decisión relacionados con (i) prácticas agrícolas para cultivar café cereza en plantaciones de café (Agente PCC); (ii) el proceso de evaluación sensorial de granos de café a partir del cual se evalúan las características gustativas y olfativas del grano para la calificación de calidad de una muestra de café pergamino (Agente ACV); y (iii) la programación del proceso de clasificación de las entradas de café pergamino en función de la clasificación de calidad de la entrada de café, el porcentaje de porcentaje de granos de café defectuosos en el lote de café (Agente PCV).

En el modelo tipo Mamdani, múltiples entradas y salidas representan información usando lógica difusa; cada variable de entrada y salida se representa a través de una variable lingüística. La representación de la base de reglas se desarrolla de acuerdo con el tipo Si-Entonces, que constituye el método de inferencia basado en la base de conocimiento y el motor de inferencia. El proceso de defusificación utiliza el método de cálculo del centroide. Para determinar la confiabilidad de los modelos difusos antes mencionados, se aplicó una prueba t pareada, que se utiliza para comparar los valores estimados de cada modelo con los datos reales de casos registrados. Cada registro tiene valores específicos para cada variable de entrada y el resultado de salida por el tomador de decisiones. Esta prueba produjo un intervalo de confianza que incluye cero, lo que muestra que no hay una diferencia significativa entre los resultados estimados y los datos reales, por lo que se puede concluir que los modelos difusos son válidos.

4.5.3.1.1 Agente Producción productor café cereza (Agente PPC)

La lógica difusa se utiliza para imitar el conocimiento y la experiencia de la dinámica del campo agrícola para el crecimiento del café. Consideramos variables relacionadas con cinco prácticas agrícolas comunes en cualquier plantación, nutrición del suelo, control de plagas, control de enfermedades, densidad de siembra y poda, y dos eventos inciertos que siempre están presentes en entornos agrícolas, precipitación pluvial y temperatura.

Tabla 4.2 Codificación de las variables del modelo tipo Mamdani para el rendimiento del cultivo de café.

Variables	Definición	Unidades de medida
Nutrición	Práctica agrícola relacionada con la transferencia de nutrientes a los cafetales.	Número de aplicaciones
Precipitación pluvial	Evento incierto que abastece de agua al cafetal	mm/mes
Control de plagas	Práctica agrícola que controla las plagas que afectan el rendimiento.	Número de aplicaciones
Control de enfermedades	Práctica agrícola que controla las enfermedades que afectan el rendimiento.	Número de aplicaciones
Densidad de plantación	Variable operacional relacionada con la cantidad de arbustos plantados en el cafetal	m ² /ha
Poda y limpieza	Práctica agrícola relacionada con el corte de la maleza para dejar una cubierta vegetal y evitar la erosión.	q/ha
Temperatura	Evento incierto que suministra calor al cafetal	°C
Rendimiento	Expresión lingüística que representa el rendimiento de crecimiento del café cereza obtenido en la plantación de café	q/ha

La consideración de las prácticas agrícolas como variables de decisión al considerar dos eventos inciertos para la producción de café cereza hace que el modelado del campo agrícola del escenario sea más cercano a la realidad, con los objetivos simultáneos de maximizar el rendimiento del café cereza obtenido en la plantación de café. La Tabla 4.2 describe las variables relacionadas con las prácticas agrícolas y los eventos inciertos definidos en la base de datos de conocimiento para el Agente CP como elementos de entrada (I), y las variables definidas como elementos de salida (O). La base de conocimiento para el rendimiento del cultivo de café se compone de 1620 reglas de inferencia.

Tabla 4.3 Modelo difuso de Rendimiento por hectárea: Conjuntos difusos e intervalos de operación.

Variable	Entrada Conjuntos difusos		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida Conjuntos difusos		
	Definición	Intervalo			Definición	Intervalo	
Nutrición	Nulo	[1, 1, 1]	1620 Reglas de Inferencia	Rendimiento por hectárea (Decisión)	Muy malo	[0, 3, 6, 10]	
	Bajo	[1, 2, 2]					
	Óptimo	[2, 3, 3]					
	Alto	[3, 4, 4]					
	Muy alto	[4, 5, 5]					
Precipitación pluvial	Bajo	[600, 600, 823.5, 1450]			Malo	[7.5, 11, 13, 16]	
	Óptima	[1400, 1500, 1600, 1850]					
	Alta	[1800, 1941, 2500, 2500]					
Control de plagas	Nulo	[0, 1, 1]			1620 Reglas de Inferencia	Rendimiento por hectárea (Decisión)	
Control de enfermedades	Óptimo	[1, 2, 2]					
	Nulo	[0, 1, 1]					
Densidad de plantación	Óptimo	[1, 2, 2]					
	Baja	[0, 1, 1]					
	Óptima	[1, 2, 2]					
Poda y limpieza	Alta	[2, 3, 3]					
	Débil	[0, 0, 0.27776]					
	Moderado	[0.2, 0.5556, 0.89]					
Temperatura	Alta	[0.75, 1, 1]	Muy bueno	[30, 32, 40, 40]			
	Baja	[10, 10, 14, 22]					
	Óptima	[21, 23, 24, 26]					
	Alta	[26, 28, 50, 50]					

La Tabla 4.3 describe las variables y conjuntos difusos, así como los valores de operación de dichos conjuntos difusos para este modelo.

4.5.3.1.2 Agente Abastecimiento productor café verde (Agente ACV)

La lógica difusa también se utiliza para imitar la evaluación organoléptica de la muestra de café pergamino. Este proceso comprende la evaluación sensorial de los granos de café, a partir de la cual se evalúan las características gustativas y olfativas del grano para determinar un puntaje de calidad para dos tipos de café, robusta y pergamino. Los sabores negativos disminuyen la calidad del café. Para la calificación de calidad de la muestra de café robusta, consideramos las variables fermento, agrio, maloliente, terroso, moho y viejo. Para la calificación de calidad de la muestra de café pergamino, se tienen en cuenta las siguientes variables: aroma; sabor; acidez; cuerpo; vinoso, afrutado, dulzor; verde, inmadurez; cereal, madera, papel; seco, viejo; químico, medicinal; fermento, agrio, maloliente; y terroso, moho.

Tabla 4.4 Codificación de las variables de los modelos tipo Mamdani para la calificación de calidad de una muestra de café

Variables	Definición	Unidades de medida	Estatus
<i>Muestra de café robusta</i>			
Fermento	Variable operativa relacionada con el sabor fermentado que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Agrio	Variable operativa relacionada con el sabor agrio que perjudica la calidad del café.	Puntaje numérico	Entrada
Hediondo	Variable operativa relacionada con el olor a ácido acético relacionado con el sabor fermentado	Puntaje numérico	Entrada
Terroso	Variable operativa relacionada con el sabor y olor a tierra que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Moho	Variable operativa relacionada con el sabor a moho que disminuye la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Añejo	Variable operativa relacionada con el sabor añejo que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Clase robusta	Expresión lingüística que representa la clase de café robusta obtenida de la evaluación organoléptica	Puntaje de calidad	Salida
<i>Muestra de café pergamino</i>			
Aroma	Variable operacional relacionada con la impresión aromática debido a las sustancias volátiles del café	Puntaje numérico	Entrada
Sabor	Variable operativa relacionada con la impresión equilibrada debido a la combinación de atributos gustativos y olfativos percibidos en el café	Puntaje numérico	Entrada
Acidez	Variable operativa relacionada con la impresión gustativa debido a los ácidos orgánicos que contribuyen a la vivacidad, la dulzura y el carácter del café de fruta fresca	Puntaje numérico	Entrada
Cuerpo	Variable operativa relacionada con la sensación de plenitud y consistencia en la boca, particularmente cuando se percibe entre la lengua y el paladar.	Puntaje numérico	Entrada
Vinoso, afrutado, dulce	Variable operativa relacionada con una agradable plenitud de sabor debido a la presencia de ciertos carbohidratos	Puntaje numérico	Entrada
Verde, pasto, inmaduro	Variable operativa relacionada con el sabor astringente que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Cereal, madera, papel	Variable operativa relacionada con el sabor del cereal que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Seco, añejo	Variable operativa relacionada con el sabor añejo que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Químico, medicinal	Variable operativa relacionada con el sabor químico que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Fermento, hediondo	Variable operativa relacionada con el sabor y olor del fermento que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Terroso, moho	Variable operativa relacionada con el sabor y olor a tierra que perjudica la calidad del café	Puntaje numérico	Entrada
Clase pergamino	Expresión lingüística que representa la clase de café pergamino obtenida de la evaluación organoléptica	Puntaje de calidad	Salida

La Tabla 4.4 describe las variables relacionadas con las características gustativas y olfativas definidas en la base de datos de conocimiento para el Agente ACV como elementos de Entrada (I), y las variables de operaciones definidas como elementos de Salida (O). La base de conocimiento para la calificación de calidad de una muestra de café robusta y una muestra de café pergamino se compone de 4096 reglas de inferencia y 96000 reglas de inferencia, respectivamente.

Tabla 4.5 Modelo difuso de Clase de café robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación

Variable	Entrada		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida			
	Conjuntos difusos	Intervalo			Conjuntos difusos	Intervalo		
	Definición				Definición			
Fermento	No	[0, 0, 1]	4096 Reglas de Inferencia	Clase de café robusto (Decisión)	7.2	[7.2, 7.2, 7.31]		
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						
Agrio	No	[0, 0, 1]						
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						
Hediondo	No	[0, 0, 1]						
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						
Terroso	No	[0, 0, 1]						
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						
Moho	No	[0, 0, 1]						
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						
Añejo	No	[0, 0, 1]			Rechazar	[7.41, 7.41, 7.5]		
	Bajo	[0.8, 1, 2]						
	Medio	[1.8, 2, 3]						
	Alto	[2.8, 3, 4]						

La Tabla 4.5 y 4.6 describen las variables y conjuntos difusos, así como los valores de operación de dichos conjuntos difusos para el modelo de la calificación de calidad de una muestra de café.

4.5.3.1.1 Agente Producción productor café verde (Agente PCV)

Para el Agente PCV, la lógica difusa se utiliza para imitar la programación del proceso de clasificación de las entradas de café en función de la calificación de la calidad de la entrada de café en el proceso de beneficio seco. La decisión de programación del proceso de clasificación se basa en el porcentaje de granos defectuosos resultantes del análisis físico de las entradas de café pergamino necesarias para completar el pedido del cliente mayorista. Para la programación del proceso de clasificación de los insumos de café robusta no lavados,

consideramos las variables defectos graves, defectos menores, pellet, aspecto verde y peso. Para la programación del proceso de clasificación de los insumos de café robusta, contemplamos las variables humedad, defectos graves, defectos menores, pellet, aspecto verde y peso. Finalmente, para el proceso de clasificación, se tomó en cuenta la programación del aporte de café pergamino, humedad, defectos graves, defectos menores, pellets, aspecto verde. Con respecto a la salida, la clasificación selectiva se refiere al proceso por el cual el café se clasifica por tamaño y forma, la clasificación neumática comprende la clasificación del café por tamaño y peso, y la clasificación óptica del café se clasifica por un sistema óptico computarizado que elimina los granos de color indeseables.

Tabla 4.6 Modelo difuso de Clase de café pergamino: Conjuntos difusos e intervalos de operación.

Variable	Entrada Conjuntos difusos		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida Conjuntos difusos	
	Definición	Intervalo			Definición	Intervalo
Aroma	Bajo	[0, 2, 2]	96000 Reglas de Inferencia	Clase de café pergamino (Decisión)	Altura	[2, 2.8, 3,3]
	Medio bajo	[2, 3, 3]				
	Medio	[3, 4, 4]				
	Medio alto	[4, 5, 5]				
	Alto	[5, 6, 6]				
Sabor de café	Bajo	[0, 2, 2]			Extra prima	[2.8, 3, 3.8, 4]
	Medio bajo	[2, 3, 3]				
	Medio	[3, 4, 4]				
	Medio alto	[4, 5, 5]				
	Alto	[5, 6, 6]				
Acidez	Bajo	[0, 2, 2]			Oro lavado	[3.8, 4, 4.8, 5]
	Medio bajo	[2, 3, 3]				
	Medio	[3, 4, 4]				
Cuerpo	Medio alto	[4, 5, 5]			Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]
	Alto	[5, 6, 6]				
	Bajo	[1, 2, 2]				
Vinoso, afrutado, dulce	Medio	[2, 3, 3]			Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]
	Alto	[3, 4, 4]				
Verde, pasto, inmaduro	Sí	[0]			Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]
	No	[1]				
Cereal, madera, papel	Sí	[0]	Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]		
	No	[1]				
Seco, añejo	Sí	[0]	Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]		
	No	[1]				
Químico, medicinal	Sí	[0]	Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]		
	No	[1]				
Fermento, hediondo	Sí	[0]	Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]		
	No	[1]				
Terroso, moho	Sí	[0]	Rechazar	[4.8, 5, 5.8, 6]		
	No	[1]				

La Tabla 4.7 describe las variables relacionadas con el proceso de beneficio húmedo definido en la base de datos de conocimiento para el Agente PCV como elementos de Entrada (I), y las variables de operaciones definidas como elementos de Salida (O). La base de conocimientos para la programación del proceso de clasificación de café no robusta, café robusta y café pergamino se compone de 216 reglas de inferencia, 864 reglas de inferencia y 128 reglas de inferencia, respectivamente.

Tabla 4.7 Codificación de las variable de los modelos tipo Mamdani para la programación del proceso de clasificación de las entradas de café

Variable	Definición	Unidades de medida	Estatus
Defectos serios	Variable operativa relacionada con el número de granos de café defectuosos asociados con la apariencia (negro, blanco, ámbar y con manchas irregulares)	% de defectos	Entrada
Defectos leves	Variable operativa relacionada con la cantidad de granos de café malformados (cáscara y oreja)	% de defectos	Entrada
Granza	Variable operacional relacionada con la cantidad de granos de café rotos	% de defectos	Entrada
Aspecto verde	Variable operativa relacionada con el número de granos de café inmaduros de color negro-verde	% de defectos	Entrada
Pesos	Variable operativa relacionada con el número de kilogramos que ingresan al cronograma del proceso	kilogramos	Entrada
Humedad	Variable operacional relacionada con el contenido de agua de los granos de café.	% de humedad	Entrada
Entrada de café robusta sin lavar			
Programa 1 de procesos robusta no lavado	Expresión lingüística que representa la programación del proceso: mezcla, clasificación neumática, clasificación óptica y clasificación selectiva	Número de procesos	Salida
Programa 2 de procesos robusta no lavado; Programa 3 de procesos robusta no lavado	Expresión lingüística que representa el cronograma del proceso: clasificación neumática, clasificación óptica y clasificación selectiva	Número de procesos	Salida
Entrada de café robusta			
Programa 1 de procesos robusta	Expresión lingüística que representa el cronograma del proceso: mezcla, clasificación neumática, clasificación óptica, clasificación por tamizado, seco y poco seco	Número de procesos	Salida
Programa 2 de procesos robusta; Programa 3 de procesos robusta; Programa 4 de procesos robusta	Expresión lingüística que representa el cronograma del proceso: clasificación neumática, clasificación óptica, clasificación por tamizado, seco y poco seco	Número de procesos	Salida
Entrada de café pergamino			
Programa 1 de procesos pergamino	Expresión lingüística que representa el cronograma del proceso: mezcla, clasificación neumática, clasificación óptica, clasificación por tamizado, seco y poco seco	Número de procesos	Salida
Programa 2 de procesos pergamino; Programa 3 de procesos pergamino; Programa 4 de procesos pergamino	Expresión lingüística que representa el cronograma del proceso: clasificación neumática, clasificación óptica, clasificación por tamizado, seco y poco seco.	Número de procesos	Salida

Las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10 describen las variables y conjuntos difusos, así como los valores de operación de dichos conjuntos difusos.

Tabla 4.8 Modelo difuso de Selección del proceso de café oro natural robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación.

Variable	Entrada Conjuntos difusos		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida Conjuntos difusos	
	Definición	Intervalo			Definición	Intervalo
Defectos graves	Normal	[-13.5, -5.58, 9.17, 10.53]	216 Reglas de Inferencia	Salida 1	Mezcla	[0, 0.16, 0.33]
	Más o menos	[10.3, 10.5, 13, 13.5]			Mecánico	[0.16, 0.33, 0.5]
	Muchos	[13, 13.5, 22, 22]			Electrónico	[0.33, 0.5, 0.66]
Defectos leves	Normal	[-7.2, -0.8, 9, 9.2]		Salida 2	Granza	[0.5, 0.66, 0.83]
	Muchos	[9, 9.2, 20.23, 20.23]			Mecánico	[0, 0.2, 0.4]
Granza	Normal	[-1.79, 0.106, 3.32, 3.5]		Salida 3	Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]
	Más o menos	[3.29, 3.68, 4.5]			Granza	[0.4, 0.6, 0.8]
Muchos	[4.3, 4.64, 11.9, 11.9]	Mecánico			[0, 0.2, 0.4]	
Aspecto verde	Bueno	[-7.2, -0.8, 13.8, 14.9]		Salida 3	Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]
	Ligero falto	[14.7, 15.27, 15.8]			Granza	[0.4, 0.6, 0.8]
	Falto	[15.5, 16.4, 16.86]	Mecánico		[0, 0.2, 0.4]	
Peso	Muy falto	[16.2, 17.01, 20, 20]	Salida 3	Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]	
	Poco	[-1.7x10 ⁴ , -7400, 1100, 1200]		Granza	[0.4, 0.6, 0.8]	
	Normal	[1205, 1260, 4000, 4050]				
	Mucho	[3690, 4350, 2.97 x10 ⁴ , 2.98 x10 ⁴]				

Para el Agente PCV, la decisión de establecimiento del plan de producción está respaldada por una regla de toma de decisiones construida por una representación basada en ecuaciones usando programación de enteros mixtos. En términos generales, la planificación de la producción comprende la determinación del tipo y la cantidad de productos que se producirán y la asignación de recursos mediante la resolución de un modelo de programación entera mixta para la asignación de órdenes de clientes en un horizonte de planificación a largo plazo, para maximizar el nivel de servicio.

Tabla 4.9 Modelo difuso de Selección del proceso de café bola robusto: Conjuntos difusos e intervalos de operación.

Variable	Entrada Conjuntos difusos		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida Conjuntos difusos	
	Definición	Intervalo			Definición	Intervalo
Humedad	Pasado	[7.87, 9.47, 10.48, 11.4]	864 Reglas de Inferencia	Salida 1	Mezcla	[0, 0.16, 0.33]
	Permitido	[10.8, 11, 12.5, 12.75]			Mecánico	[0.16, 0.33, 0.5]
	Ligero falto	[12.5, 12.75, 13]			Electrónico	[0.33, 0.5, 0.66]
	Falto	[12.75, 13, 15.7, 17.9]			Granza	[0.5, 0.66, 0.83]
	Normal	[-9, -1, 9.497, 9.81]			Secar	[0.6, 0.83, 1]
Defectos graves	Más o menos	[9.5, 10, 13, 13]		Secar poco	[0.83, 1, 1.16]	
	Muchos	[12.83, 13.2, 20.5, 30]		Mecánico	[0, 0.2, 0.4]	
Defectos leves	Normal	[-7.2, -0.8, 10, 10.5]		Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]	
	Muchos	[10, 10.5, 20.23, 20.23]		Granza	[0.4, 0.6, 0.8]	
	Normal	[-4.814, -1.614, 2.286, 2.536]		Secar	[0.6, 0.8, 1]	
Granza	Más o menos	[2.29, 2.49, 3.49, 3.779]		Secar poco	[0.8, 1, 1.2]	
	Muchos	[3.5, 3.75, 10, 10]		Mecánico	[0, 0.2, 0.4]	
Aspecto verde	Bueno	[7.32, 8.95, 11, 12.75]		Salida 3	Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]
	Ligero falto	[12.5, 12.75, 13]			Granza	[0.4, 0.6, 0.8]
	Falto	[12.75, 13, 14]			Secar	[0.6, 0.8, 1]
	Muy falto	[13, 14, 18, 18]	Secar poco		[0.8, 1, 1.2]	
Peso	Poco	[-2988, -1879, 4812, 7012]	Salida 4	Mecánico	[0, 0.2, 0.4]	
		Normal		[5214, 8614, 1.68 x10 ⁴ , 1.941 x10 ⁴]	Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]
	Mucho	[1.877 x10 ⁴ , 1.977 x10 ⁴ , 5.397 x10 ⁴ , 5.407 x10 ⁴]		Granza	[0.4, 0.6, 0.8]	
		Secar		[0.6, 0.8, 1]		
			Secar poco	[0.8, 1, 1.2]		

Tabla 4.10 Modelo difuso de Selección del proceso de café pergamino: Conjuntos difusos e intervalos de operación.

Variable	Entrada Conjuntos difusos		Inferencia Mamdani (Base de Conocimiento)	Variable	Salida Conjuntos difusos	
	Definición	Intervalo			Definición	Intervalo
Humedad	Pasado	[7.87, 9.47, 10.48, 11.4]	128 Reglas de Inferencia	Salida 1	Mezcla	[0, 0.16, 0.33]
	Permitido	[10.8, 11, 12.5, 12.75]			Mecánico	[0.16, 0.33, 0.5]
	Ligero falto	[12.5, 12.75, 13]			Electrónico	[0.33, 0.5, 0.66]
	Falto	[12.75, 13, 15.7, 17.9]			Granza	[0.5, 0.66, 0.83]
	Normal	[-9, -1, 2, 2.5]			Secar	[0.6, 0.83, 1]
Defectos graves	Muchos	[2, 2.5, 20.5, 21.4]		Secar poco	[0.83, 1, 1.16]	
	Normal	[-14.4, -8.05, 2, 2.5]		Mecánico	[0, 0.2, 0.4]	
Defectos leves	Muchos	[2, 2.5, 22, 22.4]		Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]	
	Normal	[-3.6, -0.4, 0.5, 0.75]		Granza	[0.4, 0.6, 0.8]	
	Muchos	[0.5, 0.75, 11, 11]		Secar	[0.6, 0.8, 1]	
Granza	Bueno	[7.32, 8.95, 11, 12.75]		Secar poco	[0.8, 1, 1.2]	
	Ligero falto	[12.5, 12.75, 13]		Mecánico	[0, 0.2, 0.4]	
Aspecto verde	Falto	[12.75, 13, 14]		Electrónico	[0.2, 0.4, 0.6]	
	Muy falto	[13, 14, 18, 18]		Granza	[0.4, 0.6, 0.8]	
				Secar	[0.6, 0.8, 1]	
			Secar poco	[0.8, 1, 1.2]		

El problema se describe a continuación. El productor de café verde se puede identificar como un sistema de producción de flujo flexible compuesto por seis etapas de procesamiento en serie, y cada etapa $i \in I = (1, \dots, m)$ se compone de $m_i \geq 1$ máquinas paralelas idénticas (Figure 3). En el sistema, se producen tres tipos de café en un entorno de pedido a pedido que responde directamente a los pedidos al por mayor solicitados por el cliente. Sea J el conjunto de pedidos de clientes que se conocen antes de un horizonte de planificación. Cada orden $j \in J$ es descrita por tres parámetros (a_j, d_j, s_j) , donde a_j es la fecha de llegada del pedido, d_j es la fecha de vencimiento solicitada por el cliente, y s_j es el tamaño del pedido (la cantidad de productos pedidos de un tipo específico). Cada orden requiere procesamiento en varias etapas de procesamiento; sin embargo, algunas órdenes pueden pasar por alto algunas etapas. Las etapas de procesamiento son las siguientes: limpieza previa, trilla, clasificación por cribado, clasificación por vibración-gravedad, clasificación neumática y clasificación óptica. Sea $p_{ij} \geq 0$ el tiempo de procesamiento en la etapa i de cada producto en la orden $j \in J$. Los pedidos se procesan y transfieren entre las etapas en lotes de varios tamaños que dependen del tipo de producto solicitado y sea b_j el tamaño del lote de producción por orden j . Los granos de café se introducen en la máquina de pre-limpieza, m_1 y luego a la trilladora, m_2 , esta máquina tiene 2 salidas, granos de café bueno y paja, la paja sale del sistema y el café continúa su camino hacia la siguiente etapa de procesamiento. Las máquinas clasificadoras por cribado en la etapa 3., m_3 y m_4 , tiene tres salidas, 1) granos de café bueno, 2) bolitas y 3) paja; granos de café bueno continúan su camino para ingresar a la siguiente máquina, mientras que los granos de café rotos y la paja dejan el sistema, por separado. La máquina clasificadora por vibración-gravedad., m_5 , tiene cuatro salidas, 1) granos de café bueno, que pasan a la siguiente máquina o, en su defecto, dejan el sistema como producto final; 2) pellet, 3) polvo y 4) cerezas secas que dejan el sistema definitivamente como residuo. Las máquinas clasificadoras neumáticas, m_6 , m_7 y m_8 , tiene tres salidas 1) granos de café bueno que dejan el sistema como producto final; 2) manchar los granos de café que dejan el sistema como desperdicio, y 3) los granos de café que vuelven a entrar en la máquina para ser reprocesados. Las máquinas de clasificación óptica, m_9 , m_{10} y m_{11} , tiene dos salidas 1) granos de café bueno que dejan el sistema como producto final; 2) mancha de los granos de café que dejan el sistema como residuo.

El horizonte de planeación consiste en h periodos de planeación, y L es la duración de cada período de planificación, en este caso, las horas de trabajo por semana. Sea $T = \{1, \dots, h\}$ el conjunto de periodos de planificación y c_{it} el tiempo de procesamiento disponible en el período t en cada máquina en la etapa i . Los pedidos de los clientes se dividen en lotes de producción de tamaños fijos, cada uno para ser procesado como un trabajo separado. Se consideran los siguientes dos tipos de pedidos de clientes: 1) pedido de cliente pequeño, donde cada pedido debe completarse en dos períodos de tiempo consecutivos, y 2) pedido de cliente grande, donde cada pedido debe completarse en cuatro períodos de tiempo consecutivos.

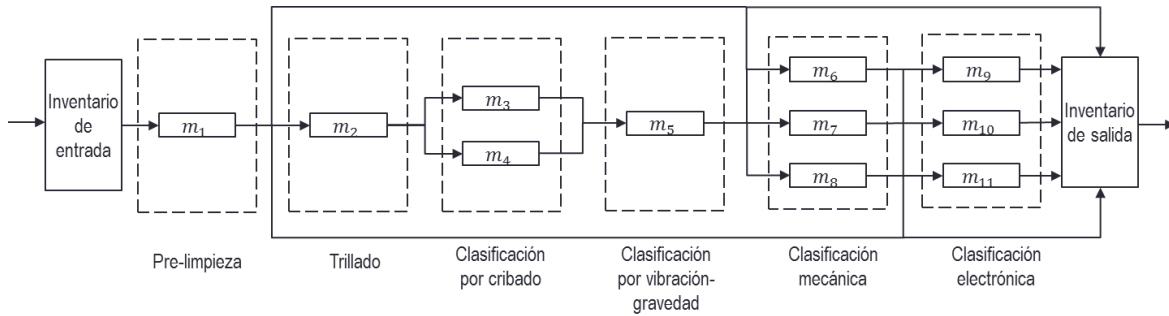


Figura 4.6 Sistema de producción de flujo flexible del productor de café verde

En la práctica, los dos tipos de pedidos de clientes se programan simultáneamente. Denotamos por $J1 \subseteq J$, and $J2 \subseteq J$, respectivamente, el subconjunto de pedidos de clientes pequeños y pedidos de clientes grandes. El índice, los parámetros y las variables de este modelo se muestran en la Tabla 4.11, Tabla 4.12 y Tabla 4.13, y la descripción del problema se explica a continuación.

Tabla 4.11 Índices

Índice	Definición
i	Etapa de procesamiento, $i \in I = (1, \dots, m)$
j	Orden del cliente mayorista, $j \in J = (1, \dots, n)$
k	Tipo de café, $k \in K = (1, \dots, r)$
t	Periodo de planeación, $t \in T = (1, \dots, h)$

Tabla 4.12 Parámetros

Parámetro	Definición
a_j, d_j, s_j	Fecha de llegada, fecha de vencimiento, tamaño de la orden j
b_j	Lote de producción para la orden j
c_{it}	Tiempo de procesamiento disponible en período t en cada máquina de la etapa i
m_i	Número de máquinas idénticas, paralelas en etapa i
n	Número de órdenes a programar
p_{ij}	Tiempo de procesamiento en etapa i de cada producto en orden j
$J_i \subseteq J$	$\{j \in J: p_{ij} > 0\}$ Subconjunto de órdenes a procesar en etapa i
$J1 \subseteq J$	Subconjunto de órdenes pequeñas
$J2 \subseteq J$	Subconjunto de órdenes grandes
J_k	Subconjunto de órdenes para café tipo k

Tabla 4.13 Variables

Variable	Definición
u_j	1, si la orden j se completa después de la fecha de vencimiento; de otra manera $u_j = 0$
x_{jt}	1, si la orden j se realiza en el periodo t ; de otra manera $x_{j,t} = 0$
y_{jt}	Fracción de la orden del cliente j a ser procesado en el periodo t

La formulación matemática para el programa de producción inicial para los pedidos originales de clientes conocidos antes del horizonte de planificación es la siguiente, donde se supone que todos los materiales están disponibles al principio, es decir. $a_j = 1$ para cada orden $j \in J$.

Maximizar

$$1 - \sum_{j \in J} u_j / n \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Sujeto a

$$x_{jt} + x_{jt+1} + x_{jt+2} + x_{jt+3} \leq 4, \quad j \in J, t \in T: a_j \leq t \leq h - 3 \quad \text{Ecuación 4-2}$$

$$x_{jt} + x_{jt+1} + x_{jt+2} \leq 3, \quad j \in J, t \in T: a_j \leq t \leq h - 2 \quad \text{Ecuación 4-3}$$

$$x_{jt} + x_{jt+1} \leq 2, \quad j \in J, t \in T: a_j \leq t \leq h - 1 \quad \text{Ecuación 4-4}$$

$$x_{jt} + x_{jt'} \leq 1, \quad j \in J, t \in T, t' \in T: a_j \leq t \leq h - 2, t' \geq t + 2 \quad \text{Ecuación 4-5}$$

$$\sum_{t \in T: t \geq a_j} y_{jt} = 1, \quad j \in J \quad \text{Ecuación 4-6}$$

$$x_{jt} \geq y_{jt}, \quad j \in J, \quad t \in T: t \geq a_j \quad \text{Ecuación 4-7}$$

$$y_{jt} \geq b_j x_{jt} / s_j, \quad j \in J, \quad t \in T: t \geq a_j \quad \text{Ecuación 4-8}$$

$$u_j \geq \sum_{t \in T: t > d_j} y_{jt}, \quad j \in J \quad \text{Ecuación 4-9}$$

$$u_j \leq \sum_{t \in T: t > d_j} x_{jt}, \quad j \in J \quad \text{Ecuación 4-10}$$

$$\sum_{j \in J} p_{ij} s_j y_{jt} \leq c_{it} m_i, \quad i \in I, t \in T \quad \text{Ecuación 4-11}$$

$$\sum_{j \in J: \tau \in T: a_j \leq \tau \leq t} s_j y_{j\tau} \geq \sum_{j \in J: d_j \leq t} s_j (1 - u_j), \quad t \in T \quad \text{Ecuación 4-12}$$

$$u_j \in \{0,1\}, \quad j \in J \quad \text{Ecuación 4-13}$$

$$x_{j,t} \in \{0,1\}, \quad j \in J, t \in T: t \geq a_j \quad \text{Ecuación 4-14}$$

$$0 \leq y_{j,t} \leq 1, \quad j \in J, t \in T: t \geq a_j \quad \text{Ecuación 4-15}$$

La función objetivo (4-1) tiene como objetivo maximizar el nivel de servicio. Cada pedido de un cliente grande debe completarse en cuatro períodos de tiempo consecutivos y cada pedido de un cliente pequeño debe completarse en dos períodos de tiempo consecutivos (4-2) – (4-5). Cada orden debe completarse (4-6), cada orden se asigna entre todos los períodos que se seleccionan para su asignación (4-7), y la porción mínima de una orden divisible asignada a un período no es menor que el tamaño del lote (4-8). Con respecto a las restricciones de orden de demora, una orden de demora se asigna parcialmente después de su fecha de vencimiento (4-9) – (4-10). La demanda de capacidad en cada etapa de procesamiento no puede ser mayor que

la capacidad máxima disponible en cada período (4-11). La producción acumulada no es menor que la demanda acumulada menos la demanda tardía (4-12).

4.5.3.1.2 Agente Reprogramación productor café verde (Agente PCV)

El Agente PCV supervisa el nivel de servicio al cliente y una vez que el indicador cae por debajo del nivel esperado, este actualiza el plan de producción. La reprogramación es el proceso de actualizar un programa de producción existente en respuesta a interrupciones u otros cambios; Esto incluye las fallas de la máquina, los retrasos en el procesamiento, los pedidos urgentes, los problemas de calidad y el material no disponible (Vieira et al., 2003); en este caso, la perturbación se relaciona con el retraso en la llegada o escasez de materiales. La formulación matemática para el algoritmo de reprogramación es la siguiente, considerando los parámetros de reprogramación en la Tabla 4.14. Sea t_{mod} el primer período de planeación inmediatamente después de la modificación de la orden.

Tabla 4.14 Parámetros del algoritmo de reprogramación

Parámetro	Definición
h'	nuevo horizonte de planificación
\bar{E}	límite superior en la máxima precocidad
t_{mod}	el periodo de planificación inmediatamente posterior a la modificación de los pedidos
J_{mod}	conjunto de órdenes modificadas
J_{old}	subconjunto de órdenes en J que quedan por completar sin modificaciones.
J_{old}^N, J_{old}^S	subconjunto de órdenes en J_{old} , respectivamente no reprogramable, reprogramable
T_{new}	$\{h + 1, \dots, h'\}$ conjunto de nuevos periodos de planificación
T_{old}	$\{t_{mod}, \dots, h\}$ subconjunto de los períodos de planificación restantes en T
T_{old}^N	subconjunto de los períodos en T_{old} con asignación fija de órdenes en J_{old}

Prima(') denota parámetros actualizados después de la modificación de órdenes

Paso 0. Divide el set J_{old} de órdenes restantes para completar en dos subconjuntos desunidos J_{old}^S de órdenes reprogramables y J_{old}^N de pedidos fijos, no reprogramables.

$$J_{old}^N = \left\{ j \in J_{old} : \sum_{t_{mod} \leq t \leq t_{mod} + E_{max}^*} x_{jt} = 1 \right\} \quad \text{Ecuación 4-16}$$

$$J_{old}^S = J_{old} \setminus J_{old}^N \quad \text{Ecuación 4-17}$$

Paso 1. Establecer $T_{old}^N = \{t_{mod}, \dots, t_{mod} + \bar{E}\}$

Paso 2. No cambiar la asignación de órdenes no reprogramables $j \in J_{old}^N$, i.e.,

$$y'_{j, t_{mod} + \bar{E} + 1} = y_{j, t_{mod} + E_{max}^* + 1}, \quad j \in J_{old}^N \cap J: x_{j, t_{mod} + \bar{E}} = 1 \quad \text{Ecuación 4-18}$$

El algoritmo es para la reprogramación de los pedidos de clientes restantes en espera de suministros de material (Sawik, 2007a). Para cada orden j , se supone que los materiales específicos del producto no están disponibles antes de \bar{E} periodos anteriores a la fecha de vencimiento del pedido d_j . Por lo tanto, cada orden j no puede ser asignado a períodos anteriores a $d_j - \bar{E}$. En particular, en el periodo t_{mod} los materiales específicos del producto no están disponibles para pedidos con vencimiento en períodos superiores a $t_{mod} + \bar{E}$, y por lo tanto todas estas órdenes pueden ser reprogramadas. Por otro lado, los pedidos no modificados con materiales específicos del producto suministrados por período t_{mod} se consideran no reprogramables en el algoritmo. En el algoritmo, el horizonte de planificación se desplaza progresivamente para tener en cuenta las modificaciones de los pedidos de los clientes (cambios en el tamaño del pedido y / o fecha de vencimiento) que se producen durante el horizonte.

4.6 Etapa 4. Desarrollo

La plataforma de simulación de métodos múltiples AnyLogic® que no solo admite simulaciones de propósito general basadas en agentes, sino que también admite el modelado DES se utilizó para construir el modelo de simulación basado en agentes que sustenta el SGC en una estación de trabajo HP con una CPU Intel Zeon funcionando a 3.40 GHz y equipado con 8 GB de RAM. Las reglas de toma de decisiones para los agentes de soporte de decisiones, las reglas de inferencia difusa Si-Entonces y la programación de enteros mixtos, se implementaron en Python a través de la integración de AnyLogic® – Python.

El software AnyLogic® es una herramienta de modelado de simulación multi-método desarrollada por *The AnyLogic® Company* (antes XJ Technologies). Esta plataforma soporta tres metodologías: dinámica de sistemas, simulación de eventos discretos, y simulación basada en agentes. El método de dinámica del sistema asume un alto nivel de abstracción y se utiliza principalmente para problemas de nivel estratégico. La simulación de eventos discretos se utiliza principalmente en los niveles operativos y tácticos. Los modelos basados en agentes se utilizan en todos los niveles; los agentes pueden ser empresas competidoras, consumidores, proyectos, ideas, vehículos, peatones o robots.

La construcción de modelos de simulación basados en agentes se realiza a través de la elaboración de diagramas de estado UML, por lo que se traduce el modelo conceptual de Agentes especificando el comportamiento de cada agente utilizando un diagrama de estado UML.

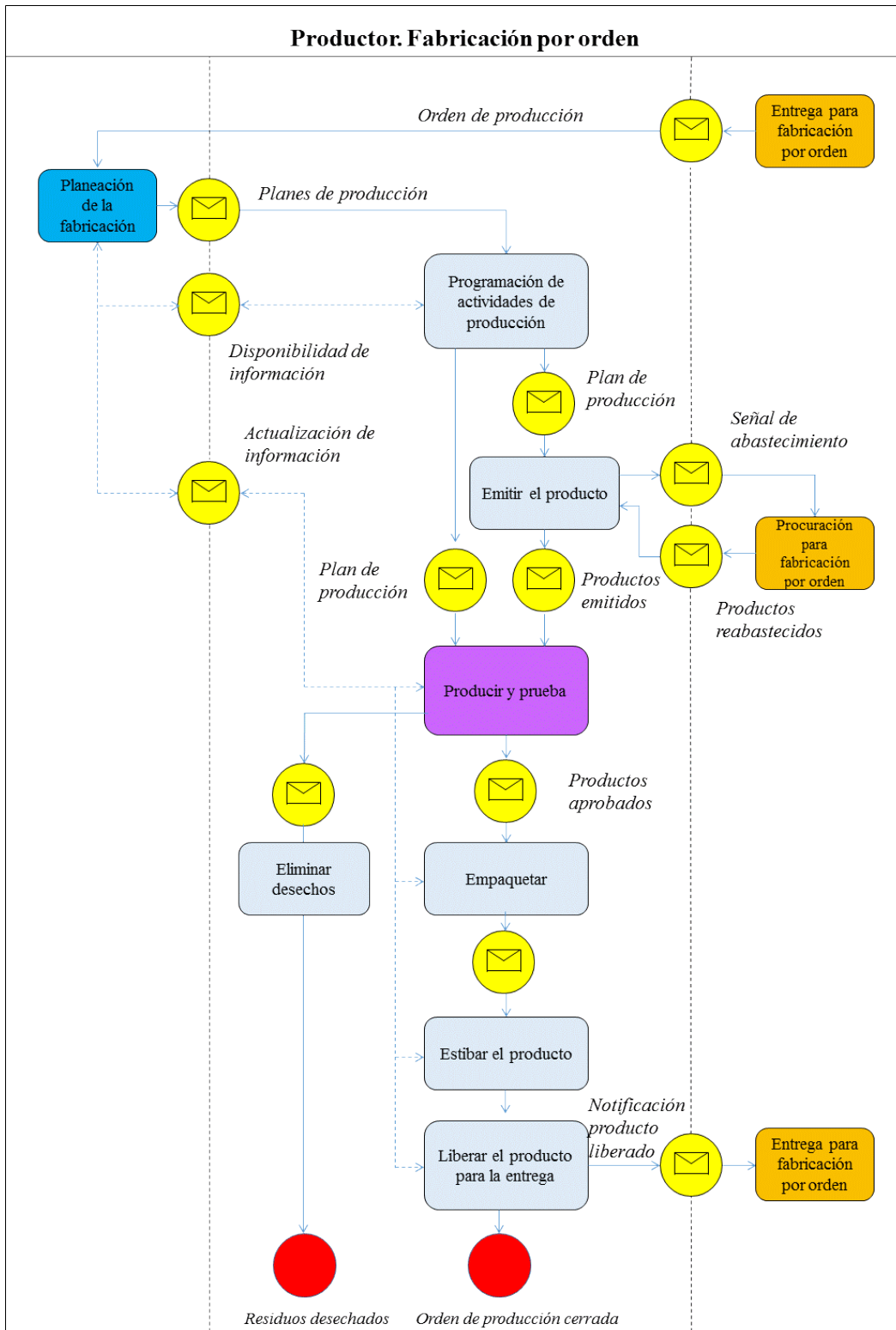


Figura 4.7 Diagrama de estado UML para el proceso de fabricación por orden de la empresa focal

En correspondencia con el modelo SCOR, la Figura 4.7 muestra diagrama de estado UML del Agente PCV referente a la fabricación por orden, agente central de la empresa focal procesadora de café verde. Este diagrama UML considera los procesos de planeación de la fabricación, abastecimiento para la fabricación por orden (Agente ACV), y entrega para fabricación por orden (Agente ECV) y los sub-procesos del proceso fabricación por orden:

- Programar actividades de producción.
- Emitir el producto.
- Producir y prueba.
- Empaquetado.
- Estibar el producto final
- Liberar el producto para la entrega.

Además, se especifican los flujos de información y mensajes entre los agentes. Los diagramas UML representan un soporte gráfico para la modelación de agentes inteligentes.

Para la modelación del sub-proceso de producción y prueba se utilizó el enfoque de simulación de eventos discretos.

4.6.1 Validación y diseño de experimentos

La utilidad de un modelo de simulación radicará en la importancia y utilidad de los resultados y datos que arroje. Es por eso que se debe realizar una validación del modelo de simulación.

La validación consiste en verificar que los datos que arroje el modelo de simulación sean estadísticamente iguales que lo del sistema real, con lo cual se puede aceptar la utilización del modelo para el análisis del sistema. La validación del modelo de simulación se llevó a cabo mediante la prueba de la t-apareada para comparar los resultados obtenidos de la simulación y de la experimentación real, tomando como medida de desempeño el café bueno obtenido al final del proceso grana-mecánicas-electrónicas, en dónde se ingresan 37,740 kg de café. Entonces, se tiene:

X_j : La cantidad de café bueno, en kilogramos, del proceso grana-mecánicas-electrónicas, en donde se ingresa 37,740 kg de café, en la realidad.

Y_j : La cantidad de café bueno, en kilogramos, del proceso grana-mecánicas-electrónicas, en donde se ingresa 37,740 kg de café, en el modelo de simulación.

Los resultados de 10 corridas se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Datos para la validación del modelo de simulación

Corridas	X _j	Y _j	Z _j = X _j - Y _j	(Z _j - Z̄ ₁₀) ²
1	27,176.00	27,935.05	-759.05	360,735.09
2	27,901.00	27,811.70	89.30	61,373.56
3	27,348.00	27,734.25	-386.25	51,899.30
4	28,004.00	28,754.03	-750.03	349,980.98
5	27,733.00	27,417.09	315.91	225,007.48
6	27,914.00	28,561.69	-647.69	239,364.85
7	27,682.00	27,270.03	411.97	325,361.82
8	28,412.00	28,461.21	-49.21	11,929.89
9	27,197.00	26,779.30	417.70	331,930.58
10	27,996.00	28,223.02	-227.02	4,703.48
Suma			-1,584.36	1,962,287.05
Promedio	27,736.30	27,894.74	-158.44	

Se construye un intervalo de confianza al 95% mediante la Ecuación 4-19.

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 4-19}$$

$$\bar{Z}_{(10)} = -\frac{1,584.36}{10}$$

$$\bar{Z}_{(10)} = -158.43$$

El siguiente paso es calcular $\widehat{Var}[\bar{Z}_{10}]$ de acuerdo a la Ecuación 4-20.

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 4-20}$$

$$\widehat{Var}[\bar{Z}_{10}] = \frac{1,962,287.05}{10(10 - 1)}$$

$$\widehat{Var}[\bar{Z}_{10}] = 21,803.18$$

Finalmente, el intervalo de confianza se calcula con la Ecuación 4-21.

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\widehat{Var}[\bar{Z}_n]} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 4-21}$$

$$-158.43 \pm t_{9, 0.975} \sqrt{21,803.18}$$

$$-158.43 \pm 2.26 \sqrt{21,803.18}$$

$$-158.43 \pm 2.26 \sqrt{21,803.18}$$

$$-158.43 \pm 2.26(147.65)$$

$$(-492.46, 175.59)$$

Como se puede observar, el intervalo de confianza incluye al cero, por lo que se puede asegurar, con un índice de confianza del 95% que la diferencia entre las medias de los datos reales y los simulados no es estadísticamente significativa, y que las diferencias existentes pueden ser explicadas por fluctuaciones aleatorias, con lo que se puede aceptar el modelo de simulación elaborado. Uno de los errores más comunes al utilizar la simulación, es tomar decisiones en base a una sola corrida del modelo, para evitar esto, es necesario calcular el número de corridas óptimo para, tomar decisiones certeramente adecuadas y válidas. Para determinar el número óptimo de corridas de un modelo de simulación, se utiliza el procedimiento de estimación de la media $\mu = E(x)$ con un error específico, una vez que el modelo ha sido validado. La Tabla 4.16 muestra los resultados de 10 corridas piloto independientes, donde cada corrida es la cantidad de café bueno, en kilogramos, del proceso granza-mecánicas-electrónicas, en donde se ingresa 37,740 kg de café.

Tabla 4.16 Número de replicaciones del modelo de simulación

Replicaciones	Café bueno
1	27,900.2004
2	27,907.4386
3	27,905.3017
4	27,889.3183
5	27,895.6686
6	27,853.6233
7	27,934.5803
8	27,896.9872
9	27,863.0423
10	27,889.3104
Promedio	27,894.7358
Desv. Estándar	24.9877

Se estimó la cantidad de café promedio que abandona el proceso, en kilogramos, con una error absoluto de $\beta = 15$ kilogramos y un nivel de confianza del 95%. Los cálculos necesarios para calcular el número de replicaciones se derivan de la Ecuación 4-22, donde i es el número de replicaciones, y donde el cálculo realizado debe ser menor o igual al error absoluto ($\beta = 15$ kilogramos). Se considera $\bar{x}_n = 27,894.73$, $S_n^2 = 624.38$, $\beta = 15$ y $\alpha = 0.05$.

$$\min \left\{ i \geq 10: t_{i-1, 0.975} \sqrt{\frac{624.38}{i}} \leq 15 \right\} \dots\dots\dots \text{Ecuación 4-22}$$

$$i = 10: 2.26 \sqrt{\frac{624.38}{10}} = 17.87 \geq 15$$

$$i = 11: 2.22 \sqrt{\frac{624.38}{11}} = 16.78 \geq 15$$

$$i = 12: 2.20 \sqrt{\frac{624.38}{12}} = 15.87 \geq 15$$

$$i = 13: 2.17 \sqrt{\frac{624.38}{13}} = 15.09 \geq 15$$

$$i = 14: 2.16 \sqrt{\frac{624.38}{14}} = 14.42 \leq 15$$

Por lo tanto, el número óptimo de replicaciones es de 14 corridas del modelo. Dadas estas características, se procedió a realizar el análisis con ayuda del complemento *Simulation experiments* de AnyLogic®.

4.7 Etapa 5. Simulación

Para determinar los escenarios de simulación, se analizaron las órdenes de producción del periodo octubre 2015 a marzo 2018, 122 órdenes entre octubre 2015 y septiembre 2016, 113 órdenes del periodo octubre 2016 a septiembre 2017, y 88 órdenes entre octubre 2017 y marzo 2018. La Figura 4.8 muestra la evolución de la demanda de la empresa procesadora de café entre octubre 2015 y marzo 2018 a nivel agregado. Como se puede observar, las ventas presentan una alta variabilidad durante el período de tiempo. Por ejemplo, la demanda mensual es aproximadamente un 141% más alta en mayo 2017 (demanda máxima) que en enero 2016, 249% que en enero 2017 y aproximadamente un 266% más que en julio 2017. De esta figura se observa también que la demanda típica de café verde disminuye en otoño (septiembre-diciembre) y alcanza su punto máximo en primavera (marzo-junio). Los pedidos de café verde de clientes mayoristas (tostadoras industriales de café) requieren procesamiento solo en algunos procesos de clasificación o en una cierta secuencia de estos (clasificación neumática, clasificación óptica y clasificación selectiva). La decisión de la programación del proceso de clasificación se basa en (i) el tamaño del pedido de café verde y su requisito de porcentaje de mancha, y (ii) el porcentaje de granos defectuosos como resultado del análisis físico de las entradas de café pergamino necesarias para completar el pedido del cliente mayorista. Si no se cumplen los requisitos del pedido del cliente, surgen dos consecuencias. La primera consiste en el reingreso del lote de café a otra secuencia de procesos de

clasificación, que genera el reprocesamiento, la segunda consecuencia se refiere a un procesamiento excesivo del grano de café cuando se excede la calidad que el cliente está dispuesto a pagar, lo que resulta en el almacenamiento del lote de café o su venta a un precio más bajo.

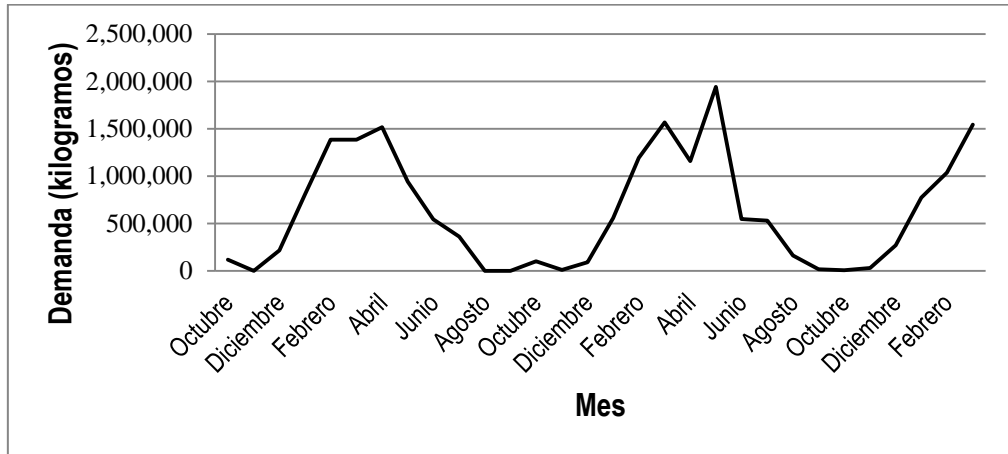


Figura 4.8 Demanda mensual agregada del productor de café verde (empresa focal) entre octubre 2015 y marzo 2018

La selección de los escenarios de patrones de demanda responde a la necesidad del tomador de decisiones para la programación de la producción durante la demanda típica de café verde que disminuye en el período de septiembre a diciembre y alcanza su punto máximo en el período de marzo a junio. El horizonte de planificación considerado fue $h = 13$ semanas, con una duración de cada período de planificación de horas de trabajo por semana.

Se consideraron los siguientes tres patrones de demanda.

- Creciente, con una demanda sesgada hacia el final del horizonte de planificación, 60 pedidos de clientes.
- Decreciente, con la demanda sesgada hacia el comienzo del horizonte de planificación, 84 pedidos de clientes.
- Unimodal, donde la demanda alcanza su punto máximo en el medio del horizonte de planificación y cae por debajo de la capacidad disponible en el primer y último día del horizonte, 63 pedidos de clientes.

Las Figuras 4.9, 4.10 y 4.11 muestran el programa de producción agregada inicial y los resultados de producción estimados junto con la producción agregada acumulada y la demanda agregada acumulada para el patrón de demanda creciente, el patrón de demanda unimodal y el patrón de demanda decreciente, respectivamente. Los valores negativos en estas cifras indican la demanda tardía.

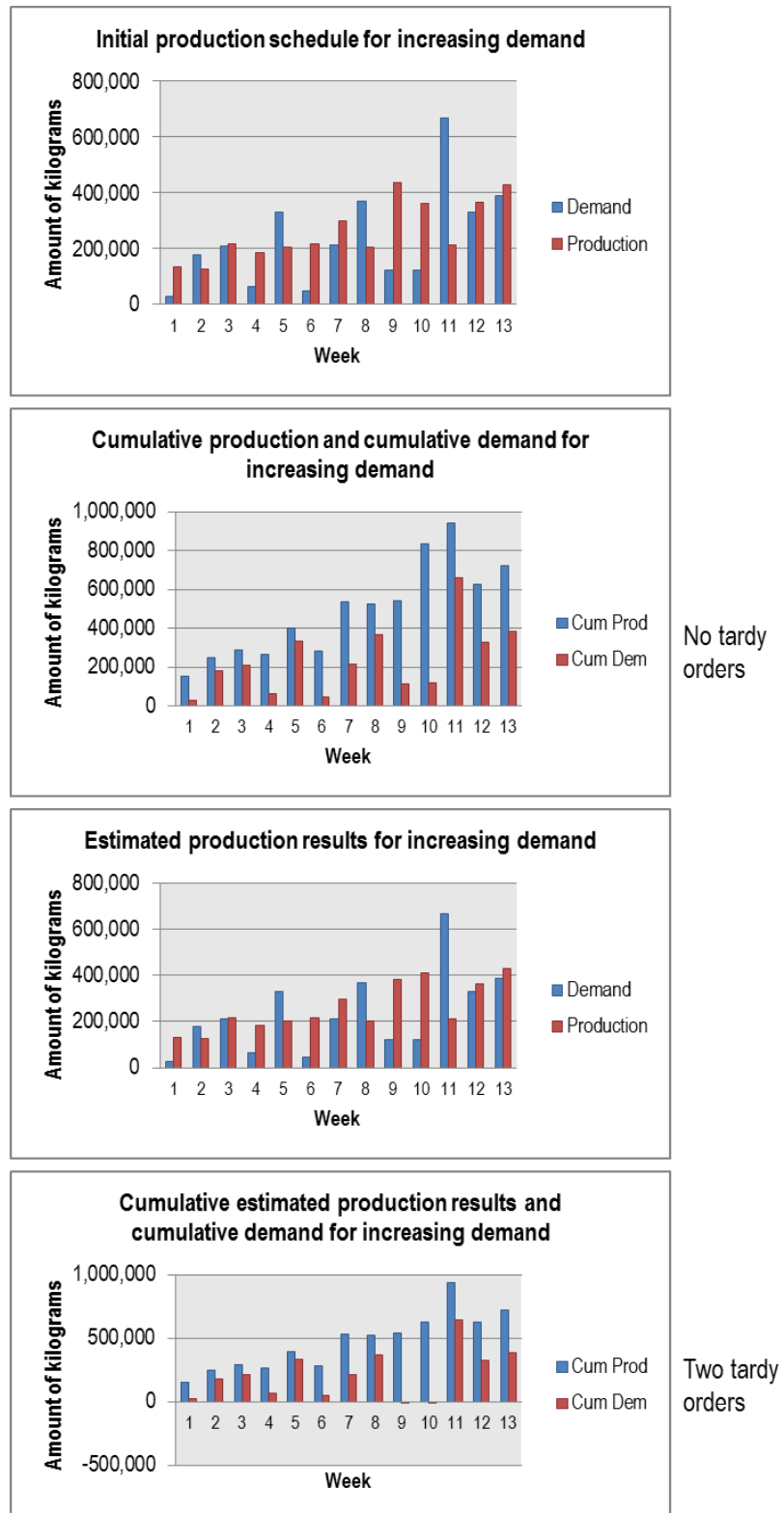


Figura 4.9 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda creciente

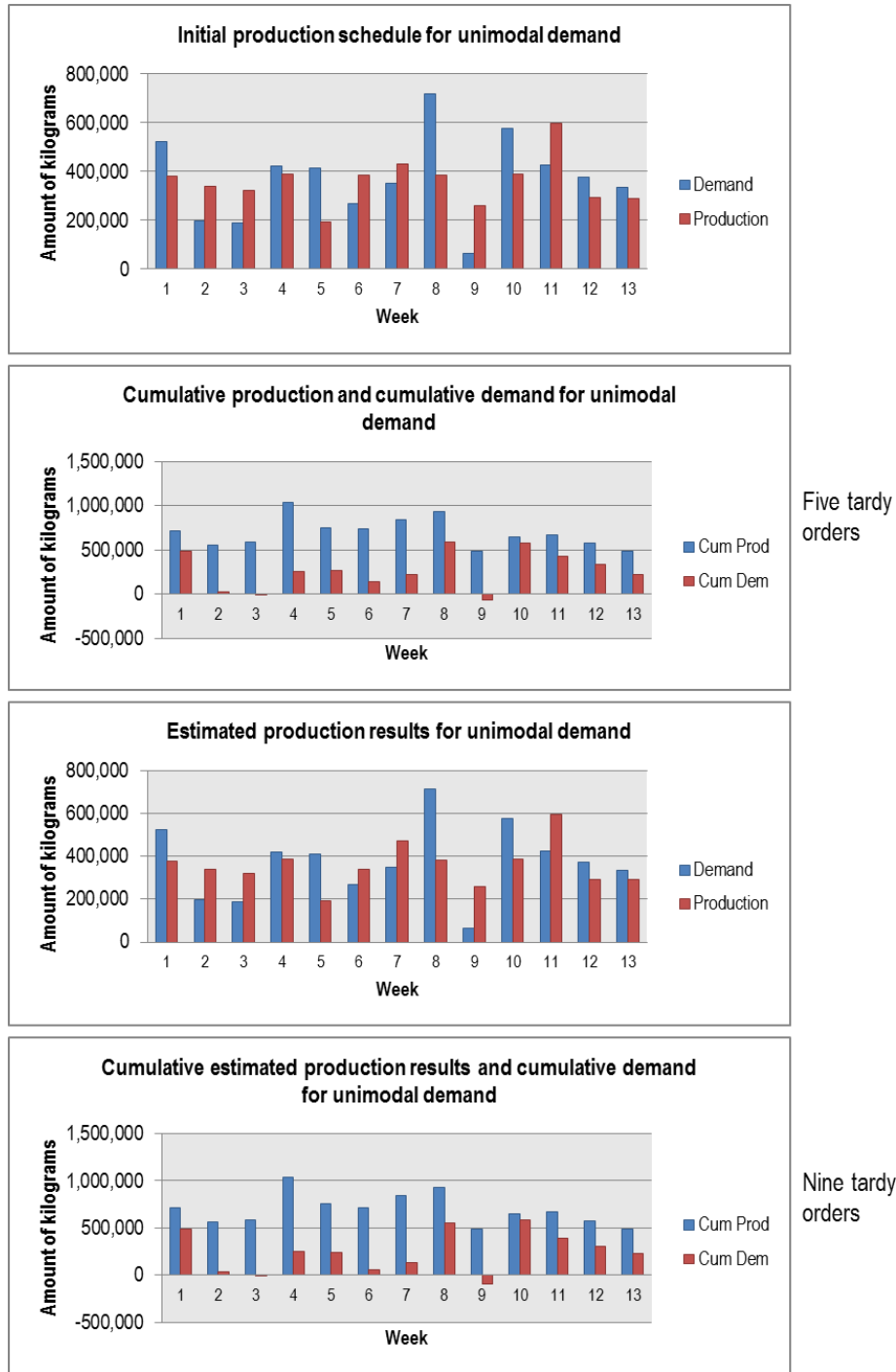


Figura 4.10 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda unimodal

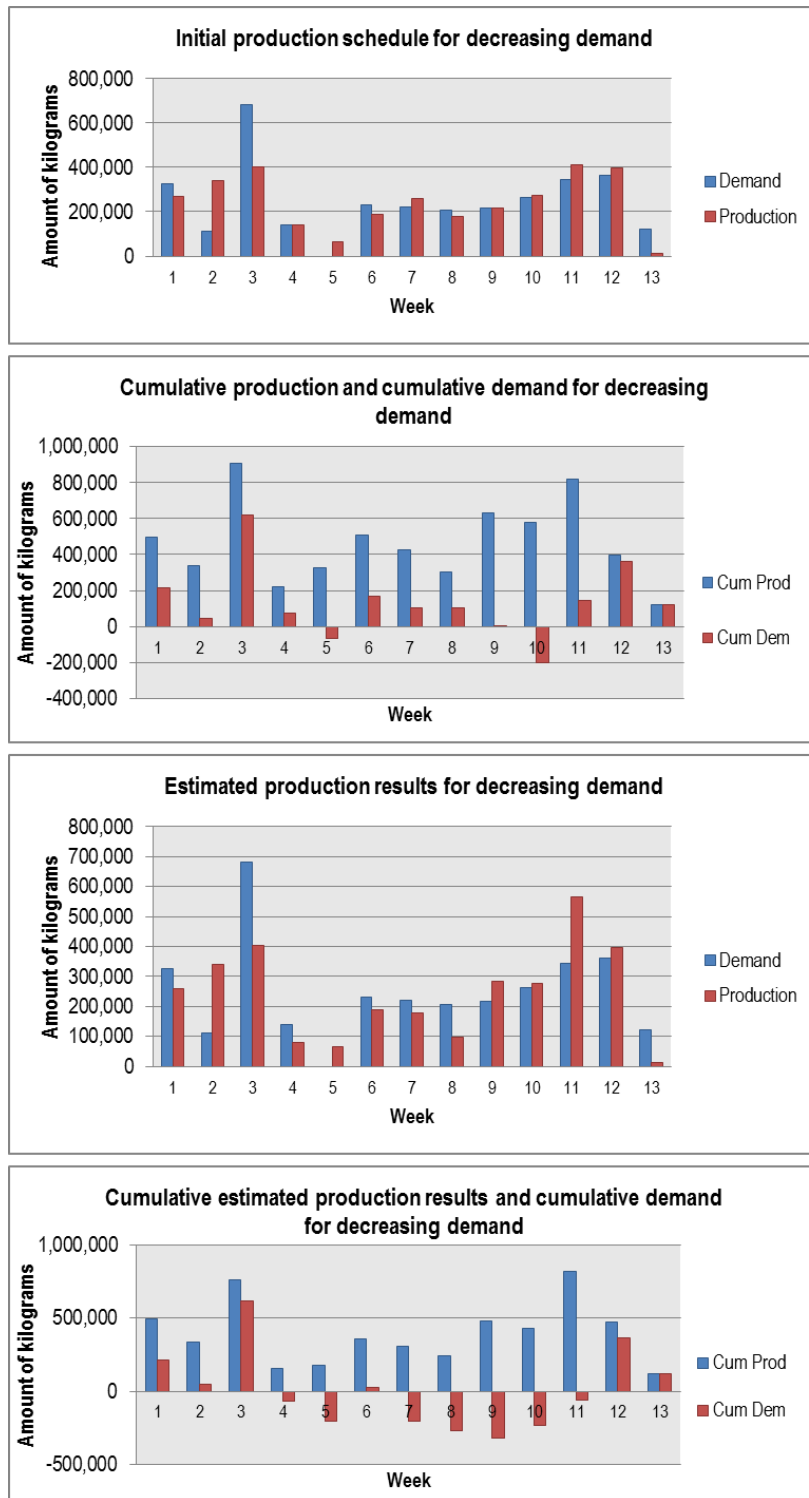


Figura 4.11 Programa de producción inicial y resultados de simulación estimados para la demanda unimodal

Para el programa de producción agregado inicial, se supone que todos los materiales están disponibles al comienzo del horizonte de planificación, mientras que para los resultados de producción estimados, se produjo un retraso en la llegada de las materias primas.

Los resultados del nivel de servicio al cliente para el patrón de demanda creciente son los siguientes (Figura 4.9): no hay pedidos tardíos para el programa de producción inicial, es decir, un nivel de servicio del 100% y dos pedidos tardíos para los resultados de producción estimados, un nivel de servicio del 96%.

Con respecto al patrón de demanda unimodal, los resultados son cinco pedidos tardíos para el programa de producción inicial, un nivel de servicio del 92% y nueve pedidos tardíos de los resultados de producción estimados, un nivel de servicio del 85%. La Figura 4.10 muestra que la producción agregada se nivela mejor con el tiempo para el patrón de demanda unimodal. El estudio de Sawik (2007) para la programación de la producción en los sistemas de fabricación por pedido, se encontró que la producción agregada se nivela mejor con el tiempo para el patrón de demanda creciente.

4.8 Aplicación de la metodología en la CS humanitaria

4.8.1 Introducción

La modelación de la CS humanitaria involucra tres decisiones principales (Figura 4.12). La decisión de la determinación de la zona de estudio consiste en, a partir de los datos obtenidos del sismo del 19 de septiembre de 2017, determinar la zona de influencia en base al nivel de daño en los edificios y la concentración geográfica del daño. Una vez definida esta zona de influencia, ésta se subdivide en zonas más pequeñas que representarán las áreas de influencia de los centros de distribución. Para lograr estos objetivos se utiliza la una técnica de inteligencia artificial perteneciente al aprendizaje automático no supervisado conocida como Clustering.

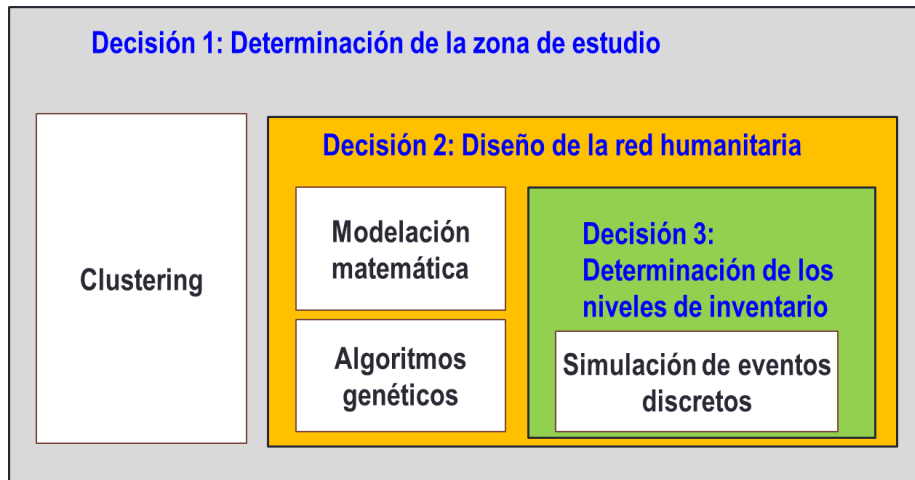


Figura 4.12 Proceso de toma de decisiones para la CS humanitaria

La decisión del diseño de la red humanitaria se refiere a la configuración de la red. , dentro de cada zona de influencia para cada centro de distribución, se determina la ubicación exacta de los centros de distribución. Esto se logra a través de la optimización de un modelo matemático mediante algoritmos genéticos. Finalmente, utilizando la misma técnica de inteligencia artificial, se determina la ubicación de un almacén general que abastecerá de insumos a los puntos de distribución. Finalmente, la determinación de los niveles de inventario para las ubicaciones de la red humanitaria utilizando la simulación de eventos discretos.

4.8.2 Marco de referencia para la CS humanitaria

Se propone un marco de referencia basado en el enfoque de agentes inteligentes, el cual involucra a los actores de la CS humanitaria, así como las interacciones, flujos y acciones entre estos (Figura 4.13). El objetivo de este marco de referencia es soportar la identificación y el establecimiento de la funcionalidad de los agentes inteligentes que modelan la CS humanitaria, esto desde un enfoque reusable y escalable.

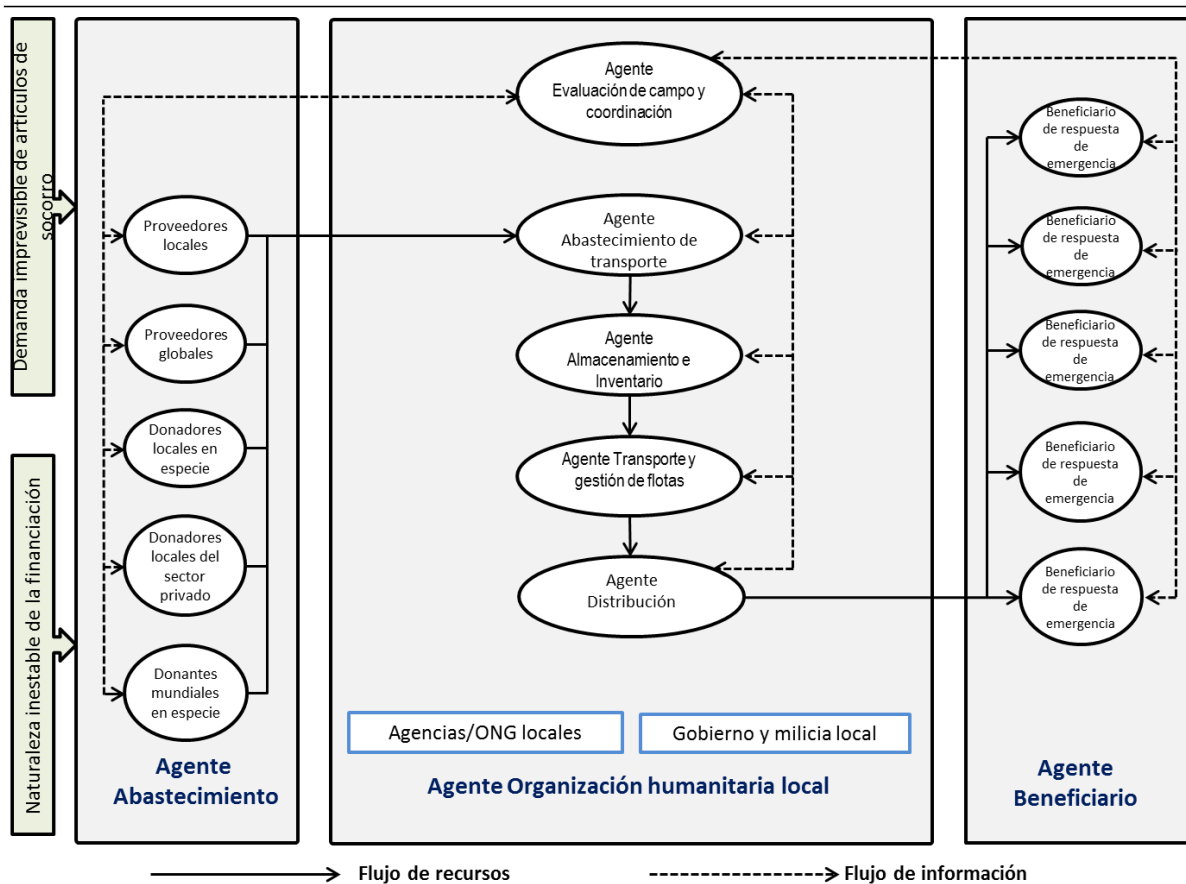


Figura 4.13 Marco de referencia para la CS humanitaria utilizando el enfoque de agentes

A continuación se expone la funcionalidad de los agentes inteligentes y los actores que integran la CS humanitaria de acuerdo al marco de referencia propuesto.

- **Agente Abastecimiento.** La función de este agente se refiere a la gestión de proveedores considerando la demanda imprevisible de artículos de socorro y la naturaleza inestable de la financiación. Involucra la administración de los proveedores locales; proveedores globales; donadores locales en especie; donadores locales del sector privado y donantes mundiales en especie.
- **Agente Organización humanitaria local.** La funcionalidad se integra con las figuras de los siguientes agentes:
 - Agente Evaluación de campo y coordinación. Este agente tiene la función de evaluar el radio de vulnerabilidad y la demanda de alivio en cada región, así como la selección de la ubicación de las instalaciones humanitarias (Nadi & Edrisi, 2017). La evaluación en campo deberá permitir entender el impacto del desastre sobre el medio ambiente, sobre la población y cómo deberán proveerse los servicios logísticos (Das, 2016). Algunas de las actividades más importantes se refieren a la determinación de: 1) la población afectada, 2) planes de distribución, 3) materiales requeridos (productos y suministros), 4) energía eléctrica, instalaciones hidroeléctricas, 5) agua / alcantarillado, 6) aviación

- civil, aeropuertos, aviones alternativos, 7) puertos, 8) ferrocarriles, 9) caminos y puentes, 10) capacidad de transporte local, 11) puntos de transferencia, 12) comunicaciones, 13) capacidad de coordinación y 14) almacenamiento. Asimismo tendrá dos funciones importantes:
- Agente Abastecimiento de transporte. Este agente desarrollará una estrategia de transporte son, cuyas principales actividades serán:
 - Identificar proveedores de servicios de transporte
 - Administrar la función, es decir, si arrendar, externalizar o administrar la propia flota
 - Capacidad de modos de transporte disponibles
 - Cantidades que requieren movimiento durante un período de tiempo
 - Naturaleza de los productos / productos / suministros que se transportarán
 - Distancias a cubrir
 - Agente Almacenamiento e inventario. Este agente se encargará gestionar cada aspecto del almacenamiento, dichos aspectos pueden cubrir las siguientes actividades: recepción y emisión de suministros; control de calidad o verificación; almacenamiento de bienes; flujo de documentación; gestión de material rechazado; gestión de material no deseado y obsoleto y eliminación de desechos; cuestiones ambientales y gubernamentales; número de destinos, centros y ubicaciones de pre posicionamiento; gestión de recursos humanos; y seguridad.
 - Agente Transporte y gestión de flotas. Este agente será el sistema de administración de vehículos y está estructurado de manera tal que permite la captura de información sobre diversos aspectos del uso, mantenimiento y operaciones de la flota:
 - Distancias recorridas y por recorrer
 - Destinos alcanzados y por alcanzar
 - Distancia recorrida por el vehículo
 - El consumo de combustible
 - Reparación y mantenimiento por vehículo
 - Tasa de consumo de piezas de repuesto
 - Servicio planificado y completado
 - Agente Distribución. Este agente hará los planes de distribución desde tres perspectivas: movimiento de bienes del vendedor a la organización humanitaria; movimiento de los bienes de un punto a otro dentro de la organización humanitaria; y 3) el punto en el que los bienes y servicios son entregados a los beneficiarios finales o a una agencia socia.
- **Agente beneficiario.** Integra a los beneficiario de respuesta de emergencia

4.8.3 Descripción de los agentes para la CS humanitaria

Derivado del proceso de toma de decisiones y el marco de referencia para la CS humanitaria utilizando el enfoque de agentes, los agentes y actividades identificados para la CS humanitaria se enumeran en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Agentes y actividades para la CS de café verde

Agente	Actividades	Tipo de actividad
Agente Zona estudio	Evaluación de campo	Operativa y Decisión
Agente Red humanitaria	Coordinación y ubicación de instalaciones	Operativa y Decisión
Agente Inventario	Almacenamiento e inventario	Operativa y Decisión

La funcionalidad del Agente Zona de estudio se refiere a: 1) la delimitación de la zona geográfica de estudio tomando en cuenta principalmente la gravedad del daño sufrido en los edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 así como la concentración geográfica de edificios dañados; y 2) una vez delimitada la zona de estudio, subdividir ésta en subgrupos (clústeres), mismos que se convertirán en las zonas a ser servidas por cada centro de distribución. La funcionalidad del Agente Red humanitaria se refiere a: 1) determinación, mediante la optimización de un modelo matemático, la ubicación geográfica de un centro de distribución en cada clúster dentro de la zona de estudio.; y 2) determinación, mediante la optimización de un modelo matemático, la ubicación geográfica de un almacén general que proveerá de insumos a los centros de distribución. Finalmente, la funcionalidad del Agente Inventario se refiere a la evaluación y propuesta del punto de reorden y la cantidad de reorden para tres puntos de distribución de víveres en la zona de estudio durante los esfuerzos de respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México utilizando la simulación de eventos discretos.

4.8.3.1 Agente Zona de estudio

Clustering es una técnica de inteligencia artificial que será aplicada para determinar la zona de estudio. En otras palabras, lo que se pretende es, dentro de la zona de desastre, determinar en qué área geográfica se concentrarán los esfuerzos de respuesta humanitaria, tomando en cuenta la gravedad del daño por edificio y la concentración geográfica de daños. Es importante determinar el tipo de algoritmo de clustering a utilizar debido a que la forma en que se distribuyen los datos, de acuerdo a las características de interés, pueden ser agrupadas de mejor o peor manera dependiendo del proceso de agrupación que lleva a cabo cada algoritmo de clustering.

Una vez que se determina el tipo de algoritmo de clustering que mejor puede agrupar los datos se procede a dividir la zona completa de desastre en diferentes grupos de entre los cuales se elige la zona de desastre en la que se desea enfocar los esfuerzos de humanitarios. Finalmente

la zona elegida se divide a su vez en sub-zonas, las cuales representan las zonas de influencia para cada centro de distribución; las zonas de influencia permiten determinar el número de personas que viven dentro de la misma y así poder conocer la demanda humanitaria para cada centro de distribución.

4.8.3.1.1 Algoritmo de clústering a utilizar

Existen diferentes tipos de algoritmos de clústering, los cuales realizan las agrupaciones de puntos mediante lógicas diferentes. Un ejemplo de lo anterior puede encontrarse si se compara el algoritmo k-medias con uno de métodos jerárquicos, mientras que el algoritmo k-medias genera los grupos de acuerdo a la distancia de los puntos a un centroide que el mismo algoritmo genera al azar, el clústering jerárquico empieza tomando como un clúster cada punto de los datos para después ir uniendo los pares más cercanos en un clúster y así sucesivamente hasta que al final queda solamente un clúster.

El tipo de algoritmo de clústering a utilizar depende en gran medida del tipo de problemática, distribución de los datos y objetivos del estudio, es por esto que es necesario determinar el algoritmo de clústering a utilizar en el presente trabajo de investigación.

Los pasos a seguir para lograr este objetivo son:

1. Análisis visual
2. Aplicar métricas de desempeño a cada algoritmo seleccionado
3. Opinión del experto

Con el apoyo de la librería Scikit-learn (Pedregosa et al., 2015), en el lenguaje de programación Python, la cual es una biblioteca de aprendizaje automatizado de software libre, se programó primero un código que permitiera calificar el desempeño de cada algoritmo de clústering para un número dado de clústeres de dos a veinte, así como la representación gráfica de los clústeres.

Para el análisis visual se presentan al experto de manera gráfica los clústeres resultantes con tres diferentes algoritmos de clústering: K-medias, jerárquico (“Agglomerative”) y DBSCAN.

En la Figura 4.14 Gráfica K-medias se muestra el código utilizado para generar una gráfica del resultado de la generación de cuatro clústeres con el algoritmo K-medias. El valor del parámetro “n_clusters” cambia de acuerdo a la cantidad de clústeres deseados.

```

kmeans = KMeans(n_clusters=4).fit(X)
centroids = kmeans.cluster_centers_
labels = kmeans.predict(X)
C = kmeans.cluster_centers_
colores=['red','green','blue','cyan']
asignar=[]
for row in labels:
    asignar.append(colores[row])

fig = plt.figure()
plt.scatter(X[:, 0], X[:, 1], c=asignar,s=60)
plt.scatter(C[:, 0], C[:, 1], marker='*', c=colores, s=80)

```

Figura 4.14 Gráfica K-medias

La muestra Figura 4.15 Código DBSCAN muestra el código utilizado para generar una gráfica de los clústeres obtenidos mediante el algoritmo DBSCAN. El parámetro “eps” se modifica de acuerdo a lo que el usuario desea definir como proximidad entre dos puntos.

```

scaler= StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)
dbscan= DBSCAN(eps=.6, min_samples =2)
clusters = dbscan.fit_predict(X_scaled)
plt.scatter(X[:,0],X[:,1], c=clusters, s=60)
plt.xlabel("Feature 0")
plt.ylabel("Feature 1")

```

Figura 4.15 Código DBSCAN

La Figura 4.16 Código Agglomerative., muestra el código utilizado para generar una gráfica de los once clústeres obtenidos mediante el algoritmo jerárquico “Agglomerative”. Los parámetros “Affinity” y “Linkage” se modifican de acuerdo al tipo de distancia con que se desea que se generen las agrupaciones y al tipo de vinculación deseados respectivamente.

```

cluster= AgglomerativeClustering(n_clusters=11, affinity='cityblock', linkage='average')
cluster.fit_predict(X)
clusters=cluster.labels_
labels=cluster.labels_
plt.scatter(X[:,0],X[:,1], c=clusters, s=60)
plt.rcParams['axes.facecolor']='white'

```

Figura 4.16 Código Agglomerative

En la Figura 4.17 Métricas para k-medias, puede observarse el código utilizado para calcular el desempeño para el número de clústeres del dos al veinte utilizando el algoritmo de clustering k-medias

```

Nc = range(2, 20)
kmeans = [KMeans(n_clusters=i) for i in Nc]
lk = []
llk = []
l1k = []
for ele in kmeans:
    salida = ele.fit(X)
    labels = ele.predict(X)
    try:
        score = metrics.silhouette_score(X, labels, metric='euclidean')
        score2 = metrics.calinski_harabaz_score(X, labels)
        score3 = davies_bouldin_score(X, labels)
        lk.append(score)
        llk.append(score2)
        l1k.append(score3)
    except:
        print('error')

```

Figura 4.17 Métricas para k-medias

En la Figura 4.18 Métricas para aglomerativo promedio, se muestra el código utilizado para calcular el desempeño utilizando un algoritmo de clústering jerárquico, para el cual se utiliza el objeto “AgglomerativeClustering”, con el tipo de distancia “cityblock” y vinculación promedio.

```

Nc = range(2, 20)
agglomerative = [AgglomerativeClustering(n_clusters=i, affinity='cityblock', linkage='average') for i in Nc]
la = []
lla = []
lla = []
for ele in agglomerative:
    salida = ele.fit(X)
    labels = ele.fit_predict(X)
    try:
        score = metrics.silhouette_score(X, labels, metric='euclidean')
        score2 = metrics.calinski_harabaz_score(X, labels)
        score3 = davies_bouldin_score(X, labels)
        la.append(score)
        lla.append(score2)
        lla.append(score3)
    except:
        print('error')

```

Figura 4.18 Métricas para aglomerativo promedio

En la Figura 4.19 Métricas para aglomerativo completo, se muestra el código utilizado para calcular el desempeño de un algoritmo de clústering jerárquico, utilizado nuevamente el objeto “AgglomerativeClustering”, con el tipo de distancia “cityblock” y vinculación completa.

```

agglomerativec= [AgglomerativeClustering(n_clusters=i, affinity='cityblock', linkage='complete') for i in Nc]
lac = []
llac = []
l1lac = []
for ele in agglomerativec:
    salida = ele.fit(X)
    labels = ele.fit_predict(X)
    try:
        score = metrics.silhouette_score(X, labels, metric='euclidean')
        score2 = metrics.calinski_harabaz_score(X, labels)
        score3= davies_bouldin_score(X, labels)
        lac.append(score)
        llac.append(score2)
        l1lac.append(score3)
    except:
        print('error')

```

Figura 4.19 Métricas para aglomerativo completo

En la Figura 4.20 Métricas para aglomerativo único, se muestra el código utilizado para calcular el desempeño de un algoritmo de clústering jerárquico, utilizando el objeto AgglomerativeClustering, con el tipo de distancia “cityblock” y vinculación única.

```

Nc = range(2, 20)
agglomerativew= [AgglomerativeClustering(n_clusters=i, affinity='cityblock', linkage='single') for i in Nc]
law = []
llaw = []
l1law = []
for ele in agglomerativew:
    salida = ele.fit(X)
    labels = ele.fit_predict(X)
    try:
        score = metrics.silhouette_score(X, labels, metric='euclidean')
        score2 = metrics.calinski_harabaz_score(X, labels)
        score3= davies_bouldin_score(X, labels)
        law.append(score)
        llaw.append(score2)
        l1law.append(score3)
    except:
        print('error')

```

Figura 4.20 Métricas para aglomerativo único

El objetivo de “AgglomerativeClustering”, realiza una agrupación jerárquica utilizando un enfoque ascendente: cada observación comienza en su propio grupo, y los grupos se fusionan sucesivamente. Los criterios de vinculación determinan la métrica utilizada para la estrategia de fusión:

- Ward minimiza la suma de las diferencias al cuadrado dentro de todos los grupos. Es un enfoque que minimiza la varianza y, en este sentido, es similar a la función objetivo k-medias pero se aborda con un enfoque jerárquico aglomerativo.
- La vinculación máxima o completa minimiza la distancia máxima entre observaciones de pares de grupos.
- El enlace promedio minimiza el promedio de las distancias entre todas las observaciones de pares de grupos.
- El enlace único minimiza la distancia entre las observaciones más cercanas de pares de grupos.

El parámetro llamado “affinity” determina el tipo de distancia que utiliza el algoritmo para medir la separación entre los puntos, en este caso la distancia “cityblock” hace referencia al tipo de distancia Manhattan, haciendo alusión al diseño en cuadrícula de la mayoría de las calles de la isla de Manhattan, permitiendo encontrar el camino más corto entre un punto y otro al tener que desplazarse por las calles.

4.8.3.1.2 Determinación de la zona de estudio

Este procedimiento agrupa las áreas afectadas identificadas en varios grupos, donde las áreas afectadas con características de urgencia relativamente similares se asignan al mismo grupo, y relativamente, sus atributos de urgencia pueden ser significativamente diferentes de los de cualquier otro grupo de áreas afectadas (Sheu, 2007). Tomando como base lo anterior, se utiliza la técnica de clústering para agrupar los puntos de necesidad en base al nivel de daño y concentración geográfica dentro de la Ciudad de México. El procedimiento utilizado para este propósito se muestra en la Figura 4.21 Proceso para la zona de estudio se muestran los pasos a seguir para determinar la zona de estudio. La selección del tipo de daño sirve para delimitar el nivel de daño con el que se desea trabajar. Esta clasificación de daño en la zona afectada está incluida en la base de datos proporcionada por CIUDADadnía19s y está relacionada al nivel de daño presente en los edificios dañados, esta clasificación puede ser: fuga de gas, grieta en pared, desnivel en piso, falla geológica, hundimiento y derrumbe entre las más comunes.

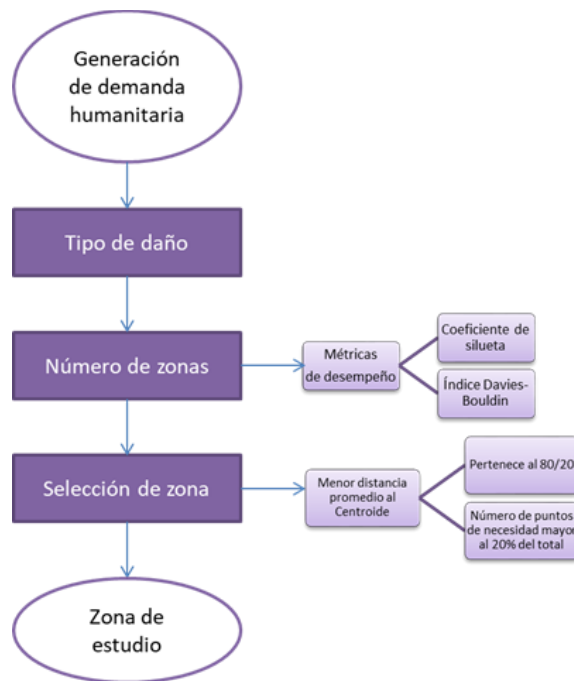


Figura 4.21 Proceso para la zona de estudio

Este nivel de daño se clasifica del uno al cuatro, siendo el nivel uno el daño mayor y 4 el daño menor. Los tipos de daño, que a su vez están relacionados con el nivel de daño, van desde grietas leves en una pared hasta derrumbe del edificio.

Una vez que se seleccionan las ubicaciones correspondientes al nivel de daño seleccionado, se aplican nuevamente las métricas de desempeño mencionadas en la Sección anterior, las cuales son el Coeficiente de Silueta y el Índice Davies-Bouldin. De acuerdo a las calificaciones resultantes, se seleccionará el número de clústeres en que se dividirán los datos con el objetivo de generar las gráficas de puntos que permitirán analizar de forma visual las zonas para cada clúster.

Una vez seleccionado el número de clústeres en los que se desea dividir la zona de desastre, se elige el clúster que posea la menor distancia promedio a su centroide y que cumpla con las siguientes dos condiciones:

1. Pertenece al 80/20
2. La cantidad de puntos de necesidad dentro de ese clúster es mayor al 20% de los puntos de necesidad totales

Con la primera condición se asegura que el clúster seleccionado sea de los más grandes y con la segunda condición se pretende discriminar las zonas con baja densidad poblacional.

Se definen las zonas de influencias para los centros de distribución, las cuales representarán las zonas de influencia de los Centros de Distribución. Para los fines del presente trabajo de investigación, la zona de influencia representa el área geográfica a la que el Centro de Distribución sirve; en otras palabras el número de personas que viven en esta sub-zona de estudio serán las que el Centro de Distribución tendrá como meta servir. El procedimiento utilizado para determinar estas zonas de influencia para los Centros de Distribución se muestra en la Figura 4.22 Zonas de influencia para centro de distribución.

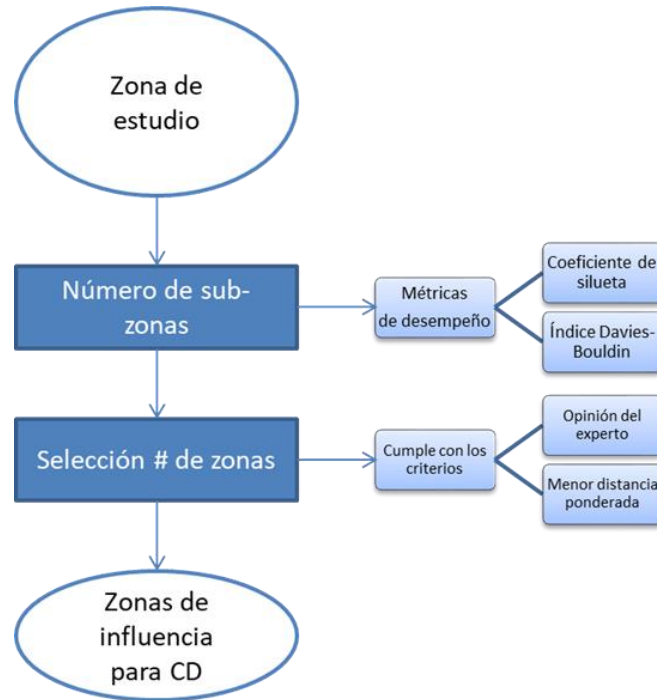


Figura 4.22 Zonas de influencia para centro de distribución

Una vez determinada la zona de estudio en el apartado anterior, se procede a agrupar los puntos de necesidad que se encuentran dentro de la misma. El número de sub-zonas se determina mediante la aplicación de métricas de desempeño y al igual que en la sección anterior son el Coeficiente de Davies-Bouldin y Índice de Silueta.

Con base a las calificaciones obtenidas se genera la gráfica de puntos ya agrupados de acuerdo al número de clústeres resultantes del paso anterior. Para seleccionar el número definitivo de sub-zonas de estudio, se deben cumplir dos criterios:

1. Opinión del experto
2. Menor distancia ponderada

4.8.3.2 Agente Red humanitaria

4.8.3.2.1 Formulación matemática

El modelo matemático propuesto consta de dos fases, en la primera se genera el segundo eslabón de la CS humanitaria y en la segunda se genera el primer eslabón (Figura 4.23).

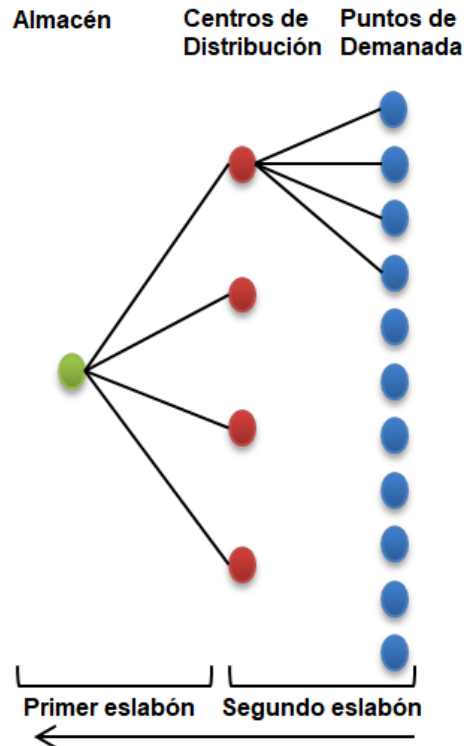


Figura 4.23 Enfoque de solución

La primera fase consta de dos funciones objetivo, una que minimiza la sumatoria de la distancia desde cada punto de demanda hasta el punto de distribución dentro de cada clúster, la segunda función objetivo maximiza la cobertura de la demanda, tomando en cuenta la distancia máxima que una persona está dispuesta a caminar desde el punto de demanda hasta el punto de distribución que sirve a ese clúster; es en esta segunda función objetivo en la que se toma en cuenta la zona de influencia del punto de distribución, de manera tal que si un punto de demanda queda fuera de esta zona de influencia, esa demanda no será cubierta.

La segunda fase consta de tres funciones objetivo: la primera minimiza la sumatoria de la distancia desde el punto de distribución en cada clúster hasta el almacén general, la segunda maximiza la utilidad generada por los puntos de distribución y la tercer función objetivo minimiza el tiempo de respuesta (tiempo que toma transportar los víveres del almacén general a los puntos de distribución). Las Tablas 4.19, 4.20 y 4.21 muestran los Conjuntos, Parámetros y Variables de Decisión del modelo matemático.

Tabla 4.18 Índices

Conjunto	Descripción
i	Punto de distribución dentro de cada clúster, $i \in I = (1, \dots, o)$
j	Almacén, $j \in I = (1, \dots, p)$
n	Punto de demanda dentro de cada clúster, $n \in N = (1, \dots, r)$

Tabla 4.19 Parámetros del modelo

Índice	Descripción
D_i	Demanda total de suministros para el punto de distribución i
D_n	Población total del punto de demanda n
dr_{ji}	Distancia total viajada desde el almacén j hasta el punto de distribución i
V_{ji}	Número de viajes a realizar desde el almacén j hasta el punto de distribución i
d_{ji}	Distancia desde el almacén j hasta el punto de distribución i
d_{in}	Distancia entre el punto de distribución i y el punto de demanda n
a_n	Coordenadas en el eje de las "x" para el punto de demanda n en el clúster i
b_n	Coordenadas en el eje de las "y" para el punto de demanda n en el clúster i
X_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el almacén
X_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el almacén
Y_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el almacén
Y_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el almacén
x_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el centro de distribución
x_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el centro de distribución
y_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el centro de distribución
y_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el centro de distribución
H	Límite superior para la distancia que una persona está dispuesta a caminar

Tabla 4.20 Variables de decisión del modelo

Índice	Descripción
X	Coordenadas en el eje de las "x" para el almacén
Y	Coordenadas en el eje de las "y" para el almacén
x_i	Coordenadas en el eje de las "x" para el punto de distribución en el clúster i
y_i	Coordenadas en el eje de las "y" para el punto de distribución en el clúster i
Z_n	Variable binaria, 0 si el punto de demanda n se encuentra fuera de la zona de influencia del punto de distribución i, 1 en caso contrario

A continuación se explica la formulación matemática:

$$(x_i, y_i) = \text{Minimizar} \sum_{n=1}^r \sqrt{(x_i - a_n)^2 + (y_i - b_n)^2} \quad \text{Ecuación 4-19}$$

$$\text{Maximizar} \sum_{n=1}^r [(D_n)(Z_n)] \quad \text{Ecuación 4-20}$$

Sujeto a:

$$d_{in} = \sqrt{(x_i - a_n)^2 + (y_i - b_n)^2} \quad \text{Ecuación 4-21}$$

$$Z_n = \begin{cases} 0 & \text{si } d_{in} \geq H \\ 1 & \text{si } d_{in} \leq H \end{cases} \quad \text{Ecuación 4-22}$$

$$x_i, y_i \geq 0 \quad \text{Ecuación 4-23}$$

La función objetivo (4-19) minimiza la distancia total desde cada punto de demanda dentro de cada clúster hacia su correspondiente punto de distribución. La función objetivo (4-20) maximiza la demanda cubierta tomando en cuenta, al igual que en la función objetivo (4-19) la distancia máxima que una persona está dispuesta a caminar.

La restricción (4-21) y (4-22) delimita la zona de influencia del punto de distribución dentro de cada clúster, tomando en cuenta la distancia máxima que una persona estaría dispuesta a caminar desde su ubicación hasta el punto de distribución dentro de su clúster. De esta forma se delimita el segundo eslabón de la CS. A continuación se presentan la función objetivo utilizada para generar el primer eslabón.

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^o \sqrt{(X - x_i^*)^2 + (Y - y_i^*)^2} \quad \text{Ecuación 4-24}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^o \sqrt{(X - x_i^*)^2 + (Y - y_i^*)^2} \leq D_{max} \quad \text{Ecuación 4-25}$$

$$X_j, Y_j \geq 0 \quad \text{Ecuación 4-26}$$

La función objetivo (4-24) minimiza la distancia total desde el almacén hacia los puntos de distribución ubicados dentro de cada clúster. La restricción (4-25) define la distancia máxima que un vehículo debería viajar.

4.8.3.2.2 Formulación matemática

En esta sección se detalla el proceso a llevar a cabo para la optimización del modelo matemático descrito en la sección anterior, dicha optimización permitirá encontrar los mejores valores de las funciones objetivo.

La optimización se lleva a cabo mediante la aplicación de algoritmos genéticos, los cuales se basan en la analogía de la evolución de los seres vivos, la cual permite encontrar soluciones óptimas. A grandes rasgos, se genera un conjunto de soluciones llamadas individuos, los cuales irán evolucionando a través de las generaciones, de manera tal que algunos individuos

dentro de la población van sufriendo cambios, al final los individuos más aptos son los que sobreviven al paso del tiempo.

En este proyecto de investigación se aplican dos algoritmos de optimización diferentes:

1. Algoritmo RISKOptimizer: Este Algoritmo Genético, desarrollado por Palisade, se utiliza mediante un complemento para Microsoft Excel lo que permite que se aplique de una forma sencilla e intuitiva. Resulta una herramienta muy poderosa pues combina la tecnología de simulación Monte Carlo de @RISK con su algoritmo de optimización RISKOptimizer, lo cual permite incorporar la incertidumbre en el modelo en forma de distribuciones de probabilidad, robusteciendo así la calidad de las soluciones.
2. Algoritmo NSGA Iib: Este algoritmo fue desarrollado en el departamento de optimización de procesos del laboratorio de Ingeniería Química del Institut National Polytechnic de Toulouse (INP). Este Algoritmo Genético se encuentra dentro del complemento para Microsoft Excel 2003 llamado MULTIGEN. Un total de ocho diferentes algoritmos genéticos pueden ser aplicados mediante este complemento, el cual es capaz de manejar diferentes tipos de variables de optimización, entre las que se encuentran: continuas, enteras, booleanas o la combinación de estas. MULTIGEN es una herramienta de optimización potente gracias a sus características, lo que hace posible la optimización de un gran número de problemas.

Es importante mencionar que la optimización mediante RISKOptimizer permite la optimización de modelos matemáticos con una sola función objetivo, es decir permite una optimización monocriterio. Por otro lado, MULTIGEN permite la optimización de más de una función objetivo al mismo tiempo, es decir permite una optimización multicriterio.

El objetivo de la aplicación de un algoritmo genético que permita la optimización multicriterio es realizar el análisis simultáneo de las dos funciones objetivo que fueron planteadas en el modelo matemático, las que se utilizan para la generación del segundo eslabón de la CS humanitaria.

Criterios de optimización y operadores genéticos

Son los parámetros de entrada que definen valores inherentes a la herramienta de optimización, en este caso, la optimización mediante Algoritmos Genéticos. Para tener una idea clara de lo que son los criterios de optimización, se puede tomar como ejemplo la población de individuos para cada generación. El número de individuos que el usuario determina para la población sería criterio de optimización.

Una vez que inicia el algoritmo, elige a los individuos que pasarán a la siguiente generación, usualmente se elige a los mejores individuos. ¿Cuáles son los criterios para decidir si un

individuo es mejor que otro? El tipo de selección de individuos es otro ejemplo de un criterio de optimización.

La Tabla 4.22 muestra las condiciones seleccionadas tanto para la optimización mediante RISKOptimizer como para optimización mediante MULTIGEN.

Tabla 4.21 Criterios de optimización

Criterio	RISKOptimizer	MULTIGEN
Tamaño de la población	100	100
Criterio de paro (tiempo)	Simulaciones	Simulaciones
Selección de individuos	Elitista	Elitista
Porcentaje de cruzamiento	0.9	0.9
Porcentaje de mutación	0.3	0.5
Número de simulaciones	200	200

Se puede notar que para ambos algoritmos se aplica la selección de individuos del tipo elitista, lo cual hará que los mejores individuos vayan sobreviviendo generación tras generación. El tamaño de la población se define igual para ambos algoritmos, así como el porcentaje de cruzamiento. El porcentaje de mutación es diferente, para el algoritmo multicriterio se utilizó el valor recomendado por los desarrolladores, mismo que es mayor al valor determinado para la optimización monocriterio.

Variables de optimización

Se identifican tres tipos de variables diferentes para la optimización, las cuales son:

1. Aquellas variables que el algoritmo genético modificará durante el proceso de optimización.
2. Valores deterministas, que se mantienen constantes durante el proceso de optimización.
3. Variables cuyo valor cambia a lo largo de la optimización pero cuyo valor depende de los valores de los primeros dos tipos de valores.

En la Tabla 4.23 se muestran las variables de optimización, los rangos para sus valores son definidos por el usuario.

Tabla 4.22 Variables de optimización

Índice	Variable
X	Coordenadas en el eje de las “x” para el almacén
Y	Coordenadas en el eje de las “y” para el almacén
x_i	Coordenadas en el eje de las “x” para el punto de distribución en el clúster i
y_i	Coordenadas en el eje de las “y” para el punto de distribución en el clúster i

En la Tabla 4.24, se presentan los valores deterministas que se utilizan durante el proceso de optimización. Estos son valores que el usuario determina en base a los datos reales que se tienen, por ejemplo la demanda total de víveres en la zona de desastre, las coordenadas geográficas de los puntos de necesidad, puede ser un valor determinista pues se conoce a priori de que inicie la optimización.

El último grupo de variables dependientes corresponde a aquellas cuyo valor es calculado a partir de las variables independientes y constantes mediante alguna operación matemática, por tanto el valor de las variables dependientes cambia a lo largo del proceso de optimización. Un ejemplo de este tipo de variables es la distancia desde un punto de necesidad hacia el Centro de Distribución más cercano, pues esta distancia depende de la ubicación del punto de necesidad (constante) y de la ubicación del centro de. Estas variables se muestran en la Tabla 4.25.

Tabla 4.23 Constantes en el modelo matemático

Índice	Constantes en el modelo matemático
D_n	Población total del punto de demanda n
a_n	Coordenadas en el eje de las "x" para el punto de demanda n en el clúster i
b_n	Coordenadas en el eje de las "y" para el punto de demanda n en el clúster i
X_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el almacén
X_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el almacén
Y_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el almacén
Y_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el almacén
x_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el centro de distribución
x_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "x" para el centro de distribución
y_{min}	Valor mínimo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el centro de distribución
y_{max}	Valor máximo que puede tomar la coordenada en el eje de las "y" para el centro de distribución
H	Límite superior para la distancia que una persona está dispuesta a caminar

Tabla 4.24 Variables dependientes

Índice	Variables dependientes
D_i	Demanda total de suministros para el punto de distribución i
dr_{ji}	Distancia total viajada desde el almacén j hasta el punto de distribución i
d_{ji}	Distancia desde el almacén j hasta el punto de distribución i
d_{in}	Distancia entre el punto de distribución i y el punto de demanda n
V_{ji}	Número de viajes a realizar desde el almacén j hasta el punto de distribución i
Z_n	Variable binaria, 0 si el punto de demanda n se encuentra fuera de la zona de influencia del punto de distribución i, 1 en caso contrario

Optimización monocriterio

El primer ejercicio de optimización se realizó mediante el uso del complemento RiskOptimizer, el principal motivo es para visualizar cómo se interrelacionan las funciones objetivo. La Tabla 4.26, muestra las tres funciones objetivo a optimizar para la construcción de la CS humanitaria.

Tabla 4.25 Funciones objetivo a optimizar

Función	Criterio	Nombre
FO 1	Min	Distancia del Centro de Distribución a puntos de Necesidad
FO 2	Max	Cobertura de la demanda
FO 2	Min	Distancia del Almacén a Centros de Distribución

Como primer paso se realiza la modelación, en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, de las ecuaciones matemáticas pertenecientes al modelo matemático; con la ayuda de la interfaz de RiskOptimizer, se definen las variables, restricciones, restricciones y funciones objetivo. La Figura 4.24 muestra el modelo matemático que fue configurado en Microsoft Excel.

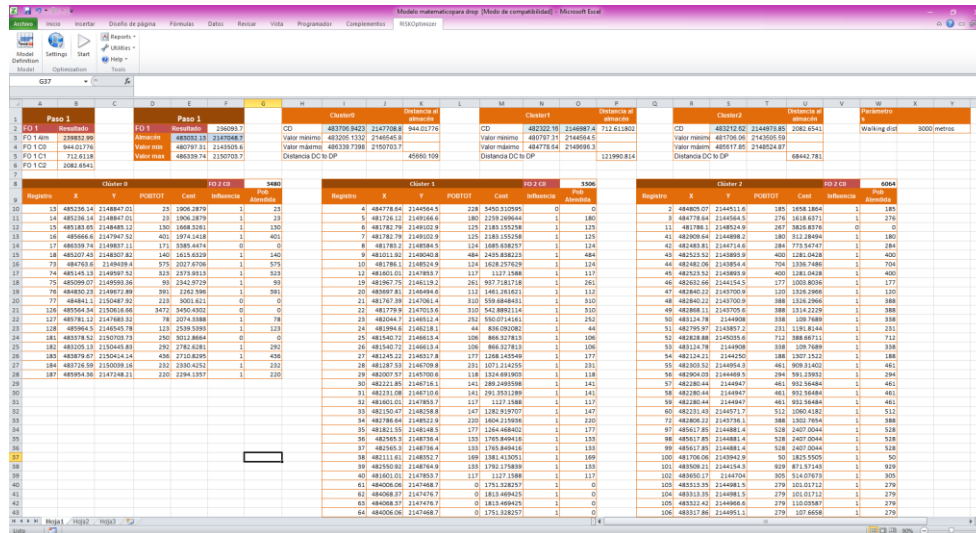


Figura 4.24 Modelo matemático en Excel

Es importante mencionar que la optimización del modelo matemático se realizó para cada clúster por separado en lo pertinente al primer paso de optimización: generación del segundo eslabón de la CS.

Optimización multicriterio

Como se mencionó anteriormente, el segundo esfuerzo de optimización se llevó a cabo mediante el complemento para Excel llamado MULTIGEN. La ventaja de esta herramienta es hay que dar de alta los criterios de optimización en una hoja diferente a la que contiene el

modelo matemático. Esta hoja de cálculo se genera seleccionando la opción “Genere Interface” del menú perteneciente a la herramienta.

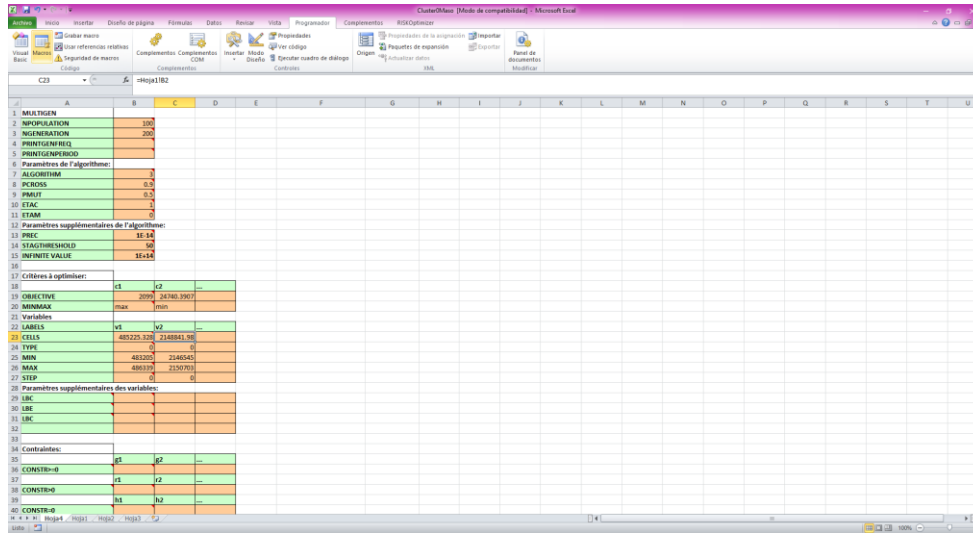


Figura 4.25 Optimización multicriterio Clúster 0

Cabe mencionar que con fines de analizar separadamente cada clúster, se aplicó por separado la optimización del modelo matemático dentro de cada una de las zonas de influencia, de tal manera que el algoritmo de optimización encuentre los valores óptimos para cada clúster de acuerdo a las dos funciones objetivo.

Al introducir las ecuaciones a la interface de optimización de MULTIGEN, se programó un periodo de evolución de doscientas generaciones, al final de las cuales se obtienen los resultados óptimos. Una característica de éstos resultados es la no-dominancia, la cual se define gráficamente como Frente de Pareto; su importancia radica en que permiten la toma de decisiones tomando en cuenta las diferentes funciones objetivo, encontrando cierto balance.

4.8.3.3 Agente Inventario

La Figura 4.26 muestra la CS humanitaria, formada por tres eslabones: los damnificados, los cuales generan el número de órdenes (los bienes necesitados en las zonas afectadas); los centros de distribución que suplirán los bienes necesitados a los damnificados y el almacén, que distribuye los bienes solicitados por los centros de distribución.

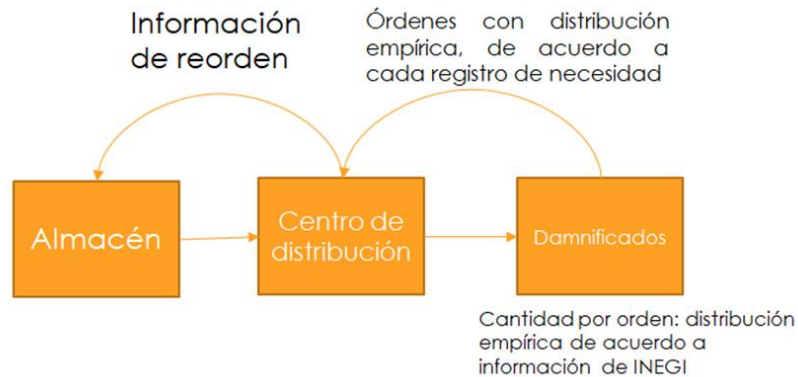


Figura 4.26 Estructura de la CS humanitaria

El número de productos que se requirieron en cada orden es distinto y por ello se programa diferente en cada orden. La cantidad de productos solicitados por centro de distribución se obtiene de la base de datos proporcionada por la asociación civil CIUDADanía 19s. El almacén se encarga de reaprovisionar a los centros de distribución. Debido a que existen tres centros de distribución, este subsistema se replica tres veces, una para cada centro de distribución. Estos tres subsistemas llamados almacén emulan juntos el funcionamiento del almacén general. El indicador de desempeño seleccionado fue el nivel de servicio del sistema.

4.9 Conclusión

El contenido de este capítulo describe un análisis comparativo de la metodología propuesta para esta investigación con trabajos publicado, así como la descripción de las etapas que se llevaron a cabo para el desarrollo del SGC basado en la integración del enfoque de agentes inteligentes y el modelo de referencia SCOR para la CS agroalimentaria caso de estudio. También se presenta una descripción sintetizada de la metodología en la CS humanitaria.

Capítulo 5. Resultados

Resumen

El desarrollo de este capítulo inicia con la presentación de los resultados de la aplicación de la metodología con enfoque en la programación de producción agregada reactiva en la CS agroalimentaria caso de estudio; además, presenta una discusión referente a la selección de las reglas de toma de decisiones para los agentes decisión. Se explican los experimentos computacionales que tiene como objetivo explorar casos de uso para el SGC para investigar diferentes patrones de demanda. El capítulo concluye con la explicación de los resultados de la aplicación de la metodología en la CS humanitaria con enfoque en la ubicación de instalaciones humanitarias.

5.1 Resultado de la aplicación de la metodología en la CS agroalimentaria

5.1.1 Resultado de la etapa 1

Una implicación social para los productores de café cereza se relaciona con la determinación de las prácticas agrícolas que tienen un efecto significativo en el rendimiento del café: Nutrición, Poda y Control de plagas. Con respecto a las prácticas agrícolas en la región de estudio, Hernández et al. (2013) afirman que los productores generalmente no tienen regulaciones o recomendaciones sobre el uso de diferentes variedades de café disponibles para ellos, el cultivo de análisis de suelo es prácticamente inexistente y la fertilización química se lleva a cabo a través de recomendaciones de otros productores, por conveniencia económica y en algunos casos, por recomendación de una empresa agroquímica comercial. Además, los autores afirman que existe un cultivo de control de la densidad de plantación con machete, dejando una cubierta vegetal para evitar la erosión. Sin embargo, se registran experiencias negativas con el uso de herbicidas tanto por envenenamiento en el personal que aplica el producto como por la degradación de los suelos con el uso frecuente, lo que ha generado una postura de uso reservado del pesticida. Por lo tanto, no hay experiencias de uso de pesticidas para controlar plagas o enfermedades del café. Con respecto a la poda de cafetos, las prácticas incluyen la poda sanitaria. Finalmente, los autores informan que los productores no tienen un plan de gestión de varios años para el tejido vegetal, incluida la renovación.

5.1.2 Resultado de la etapa 2

Los indicadores de desempeño utilizados y basados en el modelo SCOR son los siguientes:

- Tiempo de ciclo: el tiempo asociado con los procesos de fabricación. Corresponde al indicador de desempeño Capacidad de respuesta (*Responsiveness*);
- Capacidad de utilización: es una medida de cuán intensamente se está utilizando un recurso para producir un bien o servicio. En el caso específico, se mide la utilización de maquinaria. Indicador del atributo Gestión de activos (*Asset Management*); y
- Cantidad correcta de café bueno: es la cantidad de productos necesarios para el cliente, para este caso se trata de kilos de café. Está relacionado con el indicador Precisión de cantidad de entrega del atributo de desempeño Confiabilidad (*Reliability*).

Se recuperó información de seis casos proporcionados por la Gerencia de la empresa focal procesadora de café, para llevar a cabo la comparación del resultado de la toma de decisiones en la empresa con los resultados del modelo de simulación multi-agente. La Tabla 5.1 presenta los valores de las variables involucradas en la gestión de las prácticas agrícolas. Cada proveedor maneja diferentes prácticas agrícolas en sus plantíos, lo que conlleva una variación en la cantidad de quintales por hectárea a obtener de café. En el primer ejemplo se considera un panorama óptimo para cada una de las variables que afectan el rendimiento de las fincas cafetaleras, es decir, se realizaron cuatro aplicaciones de Nutrición del suelo, hubo en promedio una Precipitación pluvial de 1500 mm/m³, se considera que hubo Control de plagas y Control de enfermedades, una Densidad de plantación alta, la realización de Poda a la finca y una Temperatura promedio de 23°C.

Tabla 5.1 Casos para la toma de decisiones en las prácticas agrícolas

Prácticas agrícolas							
Caso	Nutrición	Precipitación	Plagas	Enfermedades	Densidad	Poda	Temperatura
1	4	1500 mm/m ³	Si	Si	Alta	100%	23°C
2	2	600 mm/m ³	Si	Si	Media	80%	25°C
3	1	600 mm/m ³	No	No	Media	25%	28°C
4	4	1500 mm/m ³	Si	Si	Media	25%	23°C
5	3	1500 mm/m ³	Si	Si	Media	90%	25°C

Tabla 5.2 Resultado del modelo de simulación para el rendimiento de café

Rendimiento por hectárea				
Caso	Qq por hectárea	Ha disponibles	Total (Qq)	Total (kg)
1	35.35	17	600.95	27643.7
2	20	17	340	15640
3	4.954	35	173.39	7975.94
4	20.4448	35	715.568	32916.128
5	35.3554	33	1166.7282	53669.497

Al ingresar los valores de las prácticas agrícolas de cada proveedor en el SGC, se obtuvieron los quintales por hectárea esperados que se venden a la empresa, lo cual se muestra en la segunda columna de la Tabla 5.2, así mismo, de acuerdo a la cantidad de hectáreas disponibles por proveedor, se obtiene los kilogramos del total de café cultivado, como en el primer ejemplo que considera la disponibilidad de 17 hectáreas para plantación, por lo que se espera 600.95 Qq de café, lo que equivale a 27643.7 kg.

Posterior a que cada proveedor envía a la empresa el tipo de café que cultiva, la empresa lo recibe en el tiempo negociado para que el grano pueda procesarse de manera adecuada, por lo que se requiere realizar el análisis organoléptico para determinar y corroborar la calidad del grano que el proveedor asegura que entrega. En la Tabla 5.3 se presenta a detalle los resultados de la evaluación organoléptica de cada lote de café tipo pergamino que ha entregado cada proveedor, posteriormente se ingresan esos datos en el SGC para obtener el resultado que arroja el agente proceso organoléptico, cabe mencionar que en la última columna se puede apreciar la Clase de café pergamino a la que pertenece, en el caso particular, sólo el tercer proveedor entrega café pergamino.

Tabla 5.3 Proceso de catación de café pergamino

Catación de café pergamino											
Caso	Aroma	Sabor	Acidez	Cuerpo	Vinoso	Verde	Cereal	Seco	Químico	Terroso	Clase café
1											
2											
3	3	4	4	1	0	0	0	0	0	0	Oro Lavado
4											
5											

En la Tabla 5.4 se presenta a detalle los resultados de la evaluación sensorial de cada lote de café tipo robusto que ha entregado cada proveedor, posteriormente se ingresan esos datos en el módulo 2 de la interfaz gráfica de usuario para obtener el resultado que arroja el agente proceso organoléptico, cabe mencionar que en la última columna se puede apreciar la Clase de café robusto a la que pertenece el grano del primer, segundo, cuarto y quinto proveedor.

Tabla 5.4 Proceso de catación de café robusto

Catación de café robusto									
Caso	Fermento	Agrio	Hediondo	Tierra	Moho	Añejo	Clase café	Clase café	
1	0	0	0	0	2	0	7.2	Bola robusto	
2	0	0	0	2	1	2	7.3	Natural robusto	
3									
4	0	1	0	0	0	1	7.3	Natural robusto	
5	0	0	0	1	2	0	7.2	Bola robusto	

Con conocimiento de la clase de café que ingreso a la empresa, se procede a realizar el análisis físico del grano con el fin de conocer el proceso productivo a seguir.

En la Tabla 5.5 se muestran los procesos seleccionados para cada caso en específico, los cuales se obtuvieron al ingresar los valores resultantes del proceso de valoración física en el SGC, con el fin de obtener la combinación de procesos productivos recomendados por el Agente PCV.

Tabla 5.5 Determinación de proceso productivo

Caso	Tipo	Defectos Leves	Defectos Graves	Selección de proceso			Peso (kg)	Proceso
				Granza	Humedad	Aspecto verde		
1	Bola robusto	Muchos	Muchos	Normal	Permitido	Bueno	27643.7	Electrónicas
2	Natural robusto	Normal	Muchos	Normal	No aplica	Bueno	15640	Mecánica/Electrónicas
3	Oro lavado	Muchos	Muchos	Normal	Permitido	Falto	7975.94	Electrónicas
4	Natural robusto	Muchos	Muchos	Normal	No aplica	Ligeramente falto	32916.13	Granza/Electrónicas
5	Bola robusto	Muchos	Muchos	Normal	Pasado de seco	Muy falto	26834.75	Mecánica/Electrónicas

Finalmente es necesario evaluar mediante indicadores de desempeño el impacto que tiene el sistema de apoyo a la decisión con enfoque de agentes en la CS de la empresa.

Para realizar la evaluación del comportamiento de los indicadores se utilizaron los cinco casos ejemplificados, por lo tanto el resultado se muestra en la Tabla 5.6, donde se puede apreciar en las comparativas que en el caso 1, el tiempo de ciclo obtenido se reduce significativamente, se aumenta la utilización de maquinaria a su totalidad, se realiza un sólo proceso en vez de realizar dos, al realizar un proceso más elaborado, la discriminación de café es más rigurosa, por tal motivo se obtiene cerca de 100 kilos menos de café, aunque el costo de producción de bienes se reduce en un 80%.

Para el segundo caso se nota un aumento en el tiempo de ciclo propuesto considerable debido a que el agente selección de proceso determina un proceso de tipo mecánicas/electrónicas para asegurar obtener la calidad de café que el cliente necesita sin sobrepasar el porcentaje de mancha solicitado, por el contrario, la empresa realizo un proceso de tipo electrónicas, obteniendo menor tiempo de ciclo y menor coste, pero al ser un proceso riguroso, el grano se puede llegar a sobre procesar adquiriendo mayor calidad de la solicitada aunque se venda a un precio inferior; la utilización de maquinaria propuesta es mejor y la cantidad correcta de café bueno a una calidad especifica es superior en poco más del 5%.

Para el tercer caso se aprecia un tiempo de ciclo propuesto inferior en cerca del 54%, una utilización de maquinaria superior, de acuerdo a las características del grano a procesar se determina un sólo proceso riguroso en vez de una combinación, lo cual se puede ver reflejado en un aumento del 13% en la cantidad correcta de café bueno obtenido para venta y una reducción del costo de producción superior al 60%.

En el cuarto caso se determina una disminución de tiempo de ciclo propuesto cerca del 45%, aunque la utilización de maquinaria disminuye poco más del 10% se considera justificable con el tiempo de ciclo, para el caso de la selección de proceso se aprecia que en la empresa utiliza mecánicas/electrónicas y se propone granza/electrónicas, lo anterior se ve reflejado en el aumento del 7% de la cantidad correcta de café bueno obtenido, utilizando la decisión del proceso propuesto aunque el coste de bienes aumente poco más del 1%.

Tabla 5.6 Resultado de indicadores de desempeño

Caso	Tipo de proceso		Tiempo de ciclo (minutos)		Capacidad de utilización		Cantidad correcta de café bueno(kg)		Costo de los bienes vendidos	
	Real	Obtenido	Real	Obtenido	Real	Obtenido	Real	Obtenido	Real	Obtenido
1	Granza/mecánicas	Electrónicas	5033.00	1986.94	72.0%	100.0%	27600	27467	\$ 28,153.47	\$ 5,320.45
2	Electrónicas	Mecánica/Electrónicas	1080.00	1905.18	79.0%	87.3%	13800	14546	\$ 3,005.14	\$ 7,354.10
3	Mecánicas/electrónicas	Electrónicas	1266.00	576.23	72.3%	100.0%	6900	7929	\$ 3,958.81	\$ 1,535.43
4	Mecánicas/electrónicas	Granza/Electrónicas	9445.00	5193.35	70.5%	59.0%	17423	18857	\$ 39,325.57	\$ 40,031.85
5	Mecánicas/electrónicas	Mecánica/Electrónicas	5022.00	3320.97	74.5%	87.0%	27600	24912	\$ 24,162.91	\$ 22,958.64
Totales			21846.00	12982.67			93323	93711	\$98,605.90	\$77,200.46

En el último caso se aprecia una reducción de tiempo de ciclo propuesto del 44%, un aumento de más del 10% en la utilización de maquinaria, se coincide la decisión del proceso a realizar, lo que resulta en una reducción del coste de bienes del 5% aunque la cantidad correcta de café bueno obtenido disminuye, considerándose justificable con el tiempo de proceso obtenido gracias a la gestión de información y sincronización del sistema propuesto.

5.1.3 Resultado de la etapa 3

La lógica difusa es el enfoque de la regla de toma de decisiones utilizado para generar una base de conocimiento para el Agente PPC, el Agente ACV y el Agente PCV como se describe en la Sección 4.5.3.1. El Agente PPC comprende el modelo de estimación del rendimiento del cultivo de café cereza, las hectáreas disponibles para la siembra y los datos de precipitación y prácticas agrícolas se utilizan como entrada. El Agente ACV utiliza el modelo de puntuación de calidad de la muestra de café pergamino con los atributos gustativos y olfativos de la muestra como datos de entrada. El Agente PCV comprende el modelo de programación del proceso de clasificación de entradas de café pergamino, el porcentaje de granos de café defectuosos y el porcentaje de humedad de la entrada de café se utilizan como datos de

entrada. Se llevó a cabo el análisis de las superficies de respuesta de estas reglas de toma de decisiones basadas en la lógica difusa.

Con respecto al modelo de rendimiento del cultivo de café cereza, los factores que tienen un efecto significativo en el rendimiento del café son la nutrición, la poda y el control de plagas. Los factores que tienen un efecto significativo con valores altos son la nutrición y la poda. El factor que tiene un efecto significativo con valores bajos es el control de plagas. Los factores que no tienen un efecto negativo en el rendimiento del café son la lluvia y la temperatura. El estudio de Paulo & Furlani Jr. (2010) también se encontró que una nutrición adecuada junto con una densidad óptima de siembra se espera que muestre respuestas de alto rendimiento en los cafetales.

Para el modelo de calificación de calidad de las muestras de café pergamino, Fermento, Agrio, Hediondo es el factor que tiene un efecto significativo en el puntaje de calidad de las muestras de café. Para el café Altura, la Acidez, el sabor Químico, el Sabor, el Aroma y el Cuerpo deben tener valores altos. Para el café Extra prima, el Aroma, la Acidez y el Cuerpo deben estar contenidos con valores medios. Para el modelo de calificación de calidad de las muestras de café robusta, el factor Hediondo tiene un efecto significativo en el puntaje de calidad, a partir de valores medios, el café puede ser rechazado, del mismo modo, cuando el Agrio está en los valores altos y Fermento en los valores medios. Los factores que no tienen un efecto significativo en el nivel de calidad son Añejo y Terroso. El factor que tiene un efecto significativo de los valores altos es Moho y el Agrio. La presencia de ambos factores, Moho y Añejo, tiene un efecto significativo en el puntaje de calidad cuando ocurren en valores altos.

Mediante el desarrollo de un sistema experto difuso para la evaluación sensorial de los atributos del grano de café para obtener una calificación de calidad, Livio & Hodhod (2018) encontró los rangos de los valores de los atributos para los puntajes de calidad más bajos y más altos considerando Fragancia, Sabor, Regusto, Acidez, Cuerpo, Uniformidad, Equilibrio, Dulzura, y Defectos. También desde un enfoque de lógica difusa, el estudio de Flores & Pineda (2016) realizó un análisis similar con los atributos Fermento, Aroma, Sabor, Regusto y Cuerpo.

Con respecto al modelo de programación del proceso de clasificación de entrada de café de pergamino, tanto los Defectos graves como los Defectos leves tienen un efecto significativo en la programación del proceso de clasificación. El factor de Aspecto verde no tiene efecto en la programación del proceso de clasificación. El factor de Granza tiene un efecto significativo con valores bajos en la programación del proceso de clasificación. El factor de Humedad tiene un efecto significativo con valores medios a altos y da como resultado secuencias de clasificación complejas. Para el modelo de programación del proceso de clasificación de entrada de café robusta, tanto los Defectos graves como los Defectos leves tienen un efecto significativo con valores medios a altos en la programación del proceso de clasificación.

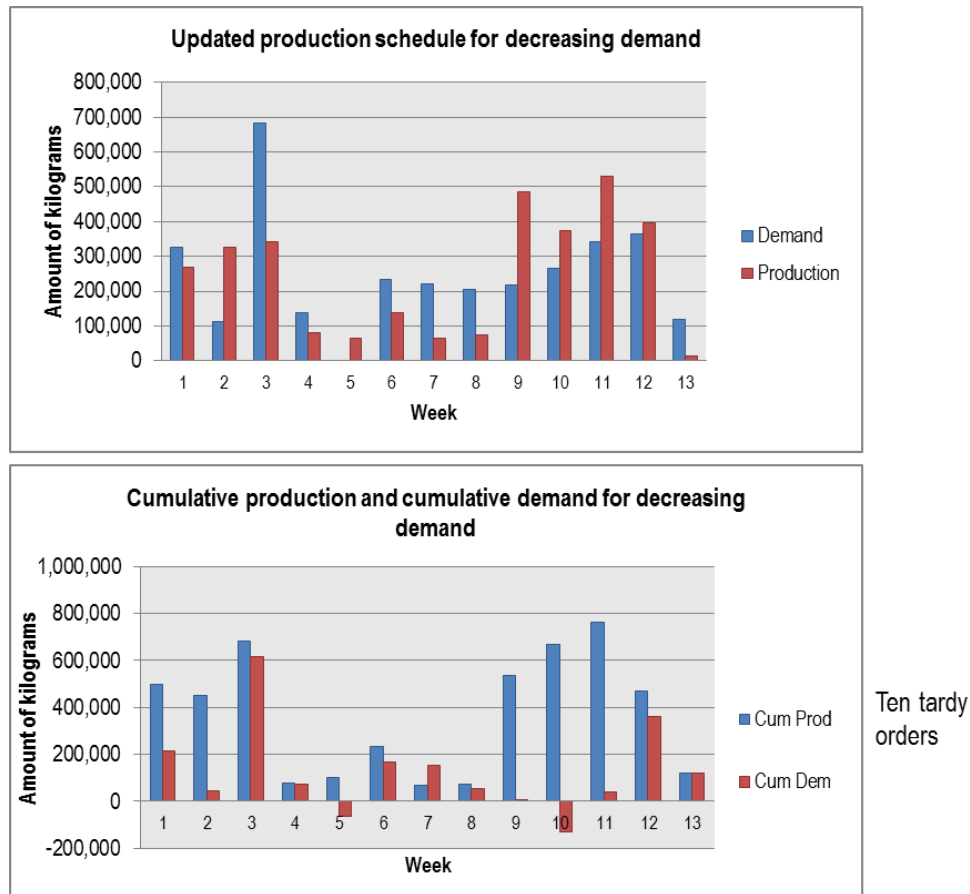


Figura 5.1 Programa de producción actualizado para la demanda $t_{mod} = 7$ y $E^- = 2$

El factor Granza tiene un efecto significativo con valores bajos a medios en la programación del proceso de clasificación. El factor de Humedad tiene un efecto significativo con valores altos en la programación del proceso de clasificación. Derivado de un estudio de revisión del procesamiento del café verde, Ghosh & Venkatachalapathy (2014) afirmaron que lograr un 12% de humedad del café contribuye a obtener un color y un tamaño aceptables junto con la eliminación de plagas para un almacenamiento seguro más prolongado. El factor de Peso no tiene un efecto en la programación del proceso de clasificación. Finalmente, para el modelo de programación del proceso de clasificación de entrada de café robusta sin lavar, los factores, Defectos graves y Defectos leves tienen un efecto significativo con valores medios a altos en la programación del proceso de clasificación y dan como resultado secuencias de clasificación complejas. Los factores, Aspecto verde y Humedad no tienen efecto en la programación del proceso de clasificación.

Para el patrón de demanda decreciente, los resultados indicaron la aplicación del enfoque de programación de producción agregada reactiva en la CS de café verde. Para este patrón de demanda: diez órdenes de retraso para el programa de producción inicial, un nivel de servicio del 88% y diecinueve órdenes de retraso de los resultados de producción estimados, un nivel de servicio del 77% (Figura 5.1). Este valor cae por debajo del nivel esperado. En consecuencia, la Figura 9 muestra el cronograma de producción agregado actualizado con $t_{\text{mod}} = 7$ y $E^- = 2$, lo que resulta en diez pedidos tardíos y un nivel de servicio del 88%.

5.1.4 Resultado de la etapa 4

El modelo de simulación implementa el proceso de refinamiento de café pergamino en la compañía focal que interpreta datos históricos de 2016 a 2018 alimentado por los actores de la CS de café verde bajo investigación. Para este estudio, se considera una CS agroalimentaria para fabricación por orden. Para este tipo de cadenas, Chatfield, Hayya, & Harrison (2007) clasificó las oportunidades de mejora para los enfoques de modelado de la CS en tres categorías: construcción del modelo, calidad del modelo y ejecución del modelo. Con respecto al enfoque de modelado basado en agentes, los autores destacaron el problema con la calidad del modelo como una medida de qué tan bien un modelo representa los aspectos de interés en un sistema real y cómo un enfoque completamente basado en agentes no es la mejor manera de representar la totalidad CS. En consecuencia, como el enfoque basado en el agente se enfoca en el comportamiento y los procesos de decisión de los participantes individuales, a menudo a expensas de los aspectos orientados a eventos de la CS, a menudo son necesarias configuraciones híbridas. De acuerdo con Macal (2016) existe un desafío en el modelado híbrido y se refiere a la comprensión de cómo el modelado basado en agentes puede usarse efectivamente con otras técnicas de simulación y modelado que operan juntas en el mismo modelo híbrido de tal manera que cada técnica aborde la parte del problema que mejor hace.

5.1.5 Resultado de la etapa 5

Con respecto a los escenarios de patrones de demanda analizados, la Figura 5.2 muestra el inventario de entrada de café pergamino y el inventario de salida de café verde. Observamos que el inventario de entrada y el inventario de salida varían de manera similar a lo largo del tiempo para el patrón de demanda unimodal, no el caso tanto para los patrones de demanda creciente como decreciente. El nivel de inventario de entrada final es el más alto para el patrón de demanda creciente y cero para el patrón de demanda decreciente.

Para el patrón de demanda decreciente, los resultados indicaron la aplicación del enfoque de programación de producción agregada reactiva en la CS de café verde debido al valor del nivel de servicio por debajo del nivel esperado. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados están sujetos a los supuestos del modelo, así como a los parámetros seleccionados y las configuraciones definidas del sistema. Las decisiones se basan en la información del caso, en consecuencia, las limitaciones se relacionan con este aspecto de una

investigación basada en un estudio de caso. Esto puede conducir a situaciones en las que la selección del enfoque de la regla de toma de decisiones utilizada para los agentes de apoyo a la decisión presentados en este estudio da como resultado decisiones que podrían afectar el rendimiento del sistema.

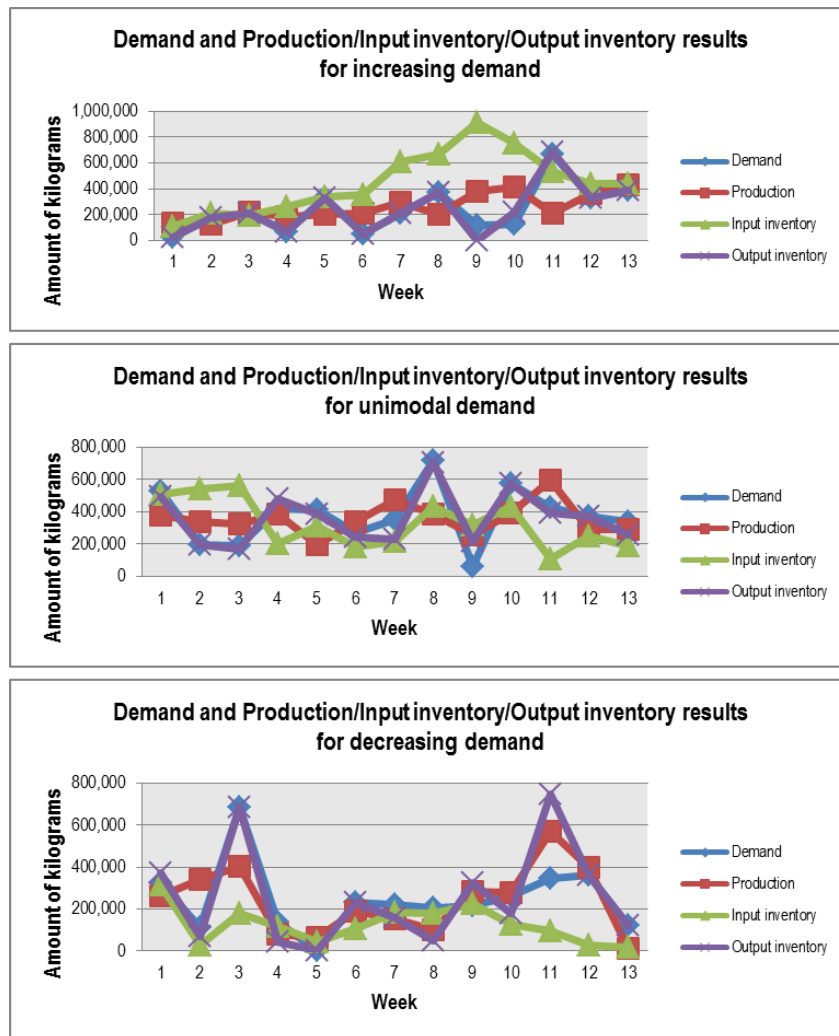


Figura 5.2 Producción/Inventario de entrada/Resultados del inventario de salida para demanda creciente, unimodal y decreciente.

5.2 Resultado de la aplicación de la metodología en la CS humanitaria

5.2.1 Determinación de la zona de estudio

5.2.1.1 Área de estudio

El 19 de septiembre de 2017, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un terremoto de magnitud 7.1 en la escala de Richter, ubicado en el límite entre los estados de Puebla y Morelos. El terremoto ocurrió a la 1:14 pm y se sintió fuertemente en el centro del país, causando varios daños a la infraestructura de la Ciudad de México. Los esfuerzos de respuesta al terremoto no esperaron; La ayuda vino de todas partes del país y de muchos otros países. Los esfuerzos de distribución y administración de alimentos y materiales se llevaron a cabo empíricamente, de buena fe y sin un sistema de apoyo definido.

Durante esta respuesta al desastre, la asociación civil Ciudadanía19S se destacó en la organización de entrega y distribución de alimentos y materiales. Su principal fuente de información era impulsada por la comunidad, a saber, una aplicación de teléfono celular que permitía a las personas en la zona del desastre registrar los edificios dañados, colapsados, las necesidades de alimentos y materiales, y las personas desaparecidas. Esta información se usó para respaldar la toma de decisiones, como dónde colocar alimentos, materiales, voluntarios, refugios, y dónde se guardaba la ayuda recolectada.

Una vez que se completó la misión de socorro, Ciudadanía19S se encargó de verificar la información proveniente de esta aplicación de teléfono celular y de diferentes organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, para consolidar una base de datos que refleje lo que sucedió durante los esfuerzos de socorro.

La base de datos mencionada anteriormente es la principal fuente de información utilizada en el estudio de caso para este documento. El punto de partida para el desarrollo del enfoque de solución a esta situación problemática es obtener los puntos de demanda de la base de datos Ciudadanía19S

Una vez obtenida la base de datos, se procedió a generar las coordenadas geográficas para poder localizar cada punto de demanda (el lugar donde los usuarios generaron un registro mediante la aplicación móvil), como puede apreciarse en la Figura 5.3. Debido a que la cantidad de registros es muy elevada y variada en magnitud del daño, se decidió definir una zona de estudio bajo las premisas de incluir las ubicaciones con mayor daño e incluir las zonas con mayor concentración de daños; es decir, la zona de estudio está definida por dos parámetros importantes: nivel de daño y concentración de daño.

Para determinar el algoritmo de clústering a utilizar, los datos son sometidos a tres diferentes criterios: 1) análisis visual, 2) aplicación de métricas, y 3) opinión del experto.

Como parte importante del diseño del SGC para la CS humanitaria, el primer paso es generar las agrupaciones de puntos de demanda para, de este modo, generar un espacio de optimización para el algoritmo genético en la selección de puntos de distribución. Es por lo anterior que es de vital importancia generar las agrupaciones de puntos de demanda más aptos

para aplicar la técnica de optimización por lo que se generaron diferentes pruebas con diferentes algoritmos de clústering para poder determinar cuál es el más apropiado.

Se hicieron pruebas con diferentes algoritmos de agrupación con el objetivo de determinar qué algoritmo funciona mejor para los datos que se tienen, dichos algoritmos son:

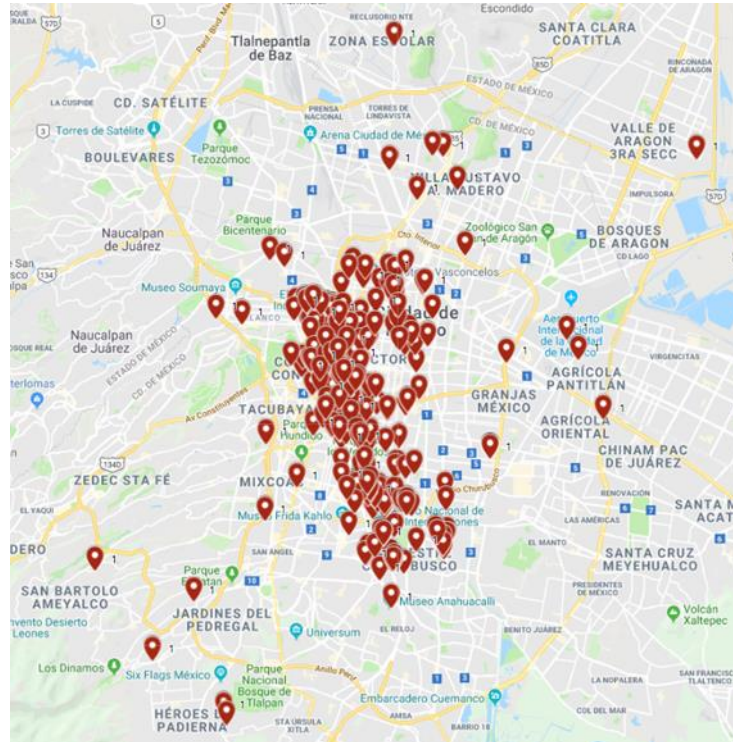


Figura 5.3 Registro de daños en aplicación móvil

- K-medias: Agrupa los datos al tratar de separar muestras en n grupos de igual varianza, minimizando un criterio conocido como “inercia” o la suma de cuadrados dentro del grupo. Este algoritmo requiere que se especifique la cantidad de grupos. Se adapta bien a un gran número de muestras y se ha utilizado en una amplia gama de áreas de aplicación en muchos campos del conocimiento diferentes.
- Agrupación jerárquica: Es una familia de algoritmos de agrupación en clúster que crean agrupaciones anidadas al fusionarlas o dividir las sucesivamente. Esta jerarquía de grupos se representa como un árbol (o dendrograma). La raíz del árbol es el único grupo que reúne todas las muestras, las hojas son los grupos con una sola muestra.
- DBSCAN: Ve los grupos como áreas de alta densidad separadas por áreas de baja densidad. Debido a esta visión más bien genérica, los clústeres encontrados por DBSCAN pueden ser de cualquier forma, a diferencia de k-medias que asume que los clústeres tienen forma convexa. El componente central de DBSCAN es el concepto de muestras de núcleo, que son muestras que se encuentran en áreas de alta densidad. Un

grupo es, por lo tanto, un conjunto de muestras del centro, cada una cerca de la otra (medida por alguna medida de distancia) y un conjunto de muestras no centrales que están cerca de una muestra de central (pero no son en sí mismas muestras centrales). Hay dos parámetros para el algoritmo, “muestras mínimas” y “eps”, que definen formalmente lo que queremos decir cuando decimos denso. Las muestras mínimas más altas o las eps más bajas indican una mayor densidad necesaria para formar un grupo.

Se descartó el algoritmo de clústering DBSCAN debido a que su forma de agrupar los puntos de demanda no resulta idónea para la problemática que se pretende resolver. Derivado del análisis de las métricas coeficiente de silueta e índice Davies-Bouldin. El índice de Davies-Bouldin se relaciona con un modelo con mejor separación entre los puntos cuando la calificación es baja. Los algoritmos de clústering con peor desempeño son con el algoritmo jerárquico “Agglomerative” con tipo de distancia igual a coseno y vinculación promedio y completa, los cuales se representan por las líneas color mostaza y rosado respectivamente. Por otro lado los algoritmos que tienen un mejor desempeño son dos, ambos del tipo jerárquico “Agglomerative” y con vinculación promedio, uno con el tipo de distancia euclidiana (línea verde) y el otro con distancia “Citybloc” o “Manhattan”. El índice de Davies-Bouldin se relaciona con un modelo con mejor separación entre los puntos cuando la calificación es baja. Los algoritmos de clústering con peor desempeño son con el algoritmo jerárquico “Agglomerative” con tipo de distancia igual a coseno y vinculación promedio y completa, los cuales se representan por las líneas color mostaza y rosado respectivamente. Por otro lado los algoritmos que tienen un mejor desempeño son dos, ambos del tipo jerárquico “Agglomerative” y con vinculación promedio, uno con el tipo de distancia euclidiana (línea verde) y el otro con distancia “Citybloc” o “Manhattan”.

Se determinó la zona de estudio es determinar el número de clústeres en los que se debe dividir la zona de desastre. Como puede notarse en la Figura 5.4, la mejor calificación se encuentra dividiendo la zona de desastre en seis clústeres mediante la vinculación promedio.

Como puede notarse en la Figura 5.5, el mejor desempeño se encuentra en el clúster once, utilizando el tipo de vinculación promedio. Tomando en cuenta las mejores calificaciones obtenidas para cada métrica utilizada, se procede a generar dos opciones de agrupamiento para su análisis visual por el experto.

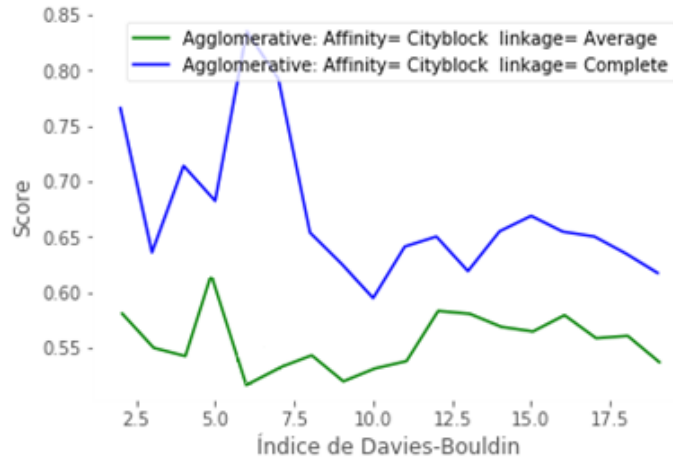


Figura 5.4 Índice Davies-Bouldin

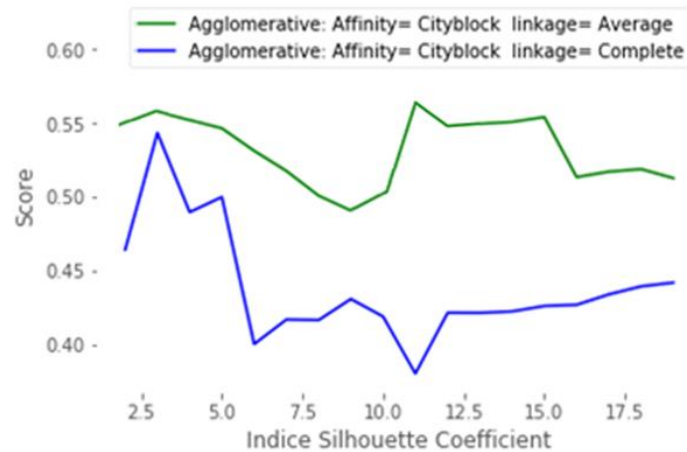


Figura 5.5 Coeficiente de Silueta

Se seleccionó el clúster con la menor distancia promedio de los puntos hacia su centroide y que cumpla con las dos condiciones establecidas para elegir la zona de desastre, dichas condiciones son:

1. Pertenece al 80/20
2. Número de puntos de necesidad es mayor al 20% de los puntos totales

La Figura 5.6 muestra de manera gráfica la zona de desastre dividida en seis clústeres, mismos que corresponden al mejor desempeño utilizando el Índice Davies-Bouldin. Cabe mencionar que éste índice mide una mejor separación entre grupos a medida que la calificación es más baja.

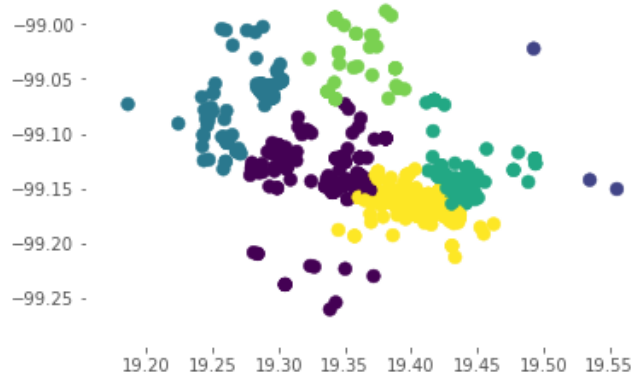


Figura 5.6 Seis clústeres

La Figura 5.7 muestra de manera gráfica la agrupación en once clústeres de la zona de desastre, la cual tiene la mejor calificación utilizando la métrica del Coeficiente de Silueta. Es importante recalcar que el Coeficiente de Silueta se relaciona con un modelo con grupos mejor definidos a medida que la calificación es mayor.

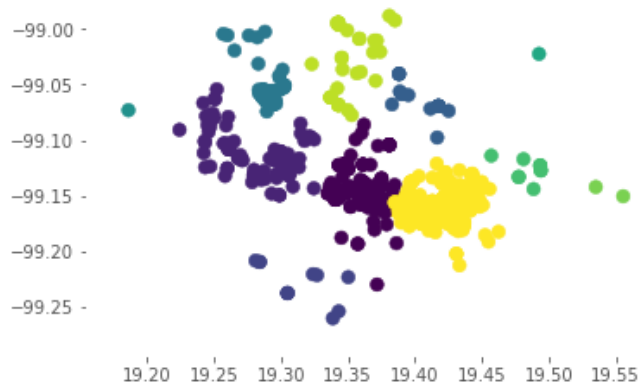


Figura 5.7 Once clústeres

En la Tabla 5.7, en la primer columna se encuentra el número de clúster o zona, es decir, la zona de desastre completa se divide en once sub-zonas, a cada una de las cuales el algoritmo de clústering asignó un número con el fin de poder identificarla y diferenciarla de las demás sub-zonas. La segunda columna contiene el número de observaciones o puntos de necesidad que pertenecen a cada clúster; la tercera columna muestra el porcentaje de participación de cada clúster, es decir, del total de puntos de necesidad, qué porcentaje se encuentra dentro de cada clúster. Finalmente, la última columna contiene la sumatoria de las distancias que hay desde cada punto de necesidad hacia el centroide del clúster en el que se encuentra, dividida entre el número de observaciones dentro del clúster.

Tabla 5.7 Once clústeres

Clúster	Observaciones	%	% acumulado	Distancia promedio al centroide
10	363	42	42	1833.814219
0	181	21	63	1875.20982
4	147	17	81	583.0049006
1	94	11	91	
9	32	4	95	
3	16	2	97	
2	11	1	98	
7	10	1	100	
8	2	0	100	
5	1	0	100	
6	1	0	100	

La Tabla 5.8 fue calculada a partir de los resultados de agrupar la zona de desastre en seis clústeres. Como puede notarse el ochenta por ciento de los datos se encuentran entre el clúster cinco y cero y la distancia promedio menor la tiene el clúster cero, mientras que en la Tabla 5.7 el ochenta por ciento de los datos se encuentran entre los clústeres diez, cero y cuatro, de los cuales el clúster diez es el que cuenta con menor distancia promedio.

Tabla 5.8 Seis clústeres

Clúster	Observaciones	%	% acumulado	Distancia promedio al centroide
5	350	41	41	3251.779481
0	336	39	80	2006.704998
2	46	5	85	
3	85	10	95	
4	38	4	100	
1	3	0	100	

Comparando el clúster diez, perteneciente a la Tabla 5.7, y el clúster cero, perteneciente a la Tabla 5.8, el que cuenta con la menor distancia promedio es el clúster diez, mismo que cumple con la condición número dos: contiene más del veinte por ciento de las observaciones totales.

Derivado del análisis anterior, se selecciona como zona de estudio el clúster diez, resultante de agrupar la zona de desastre en once zonas y contiene el cuarenta y dos por ciento de los puntos de necesidad.

5.2.2 *Diseño de la red humanitaria*

5.2.2.1 Optimización monocriterio

Para el proceso de optimización, se seleccionó la primera función objetivo (FO 1) y se corrió la optimización para el clúster 0, al término de la cual se tomaron los valores obtenidos para las variables de decisión para el cálculo manual de la segunda función objetivo (FO 2). Posteriormente se seleccionó la segunda función objetivo (FO 2) y se corrió la optimización para el clúster 0, al término de la cual se tomaron los valores obtenidos de la variables de decisión para calcular manualmente la primera función objetivo. Este procedimiento se repite tres veces, una para cada zona de influencia. La Tabla 5.9 muestra el procedimiento descrito aplicado al clúster cero.

Tabla 5.9 Optimización monocriterio C0

FO Optimizada	Demanda	Distancia
FO 1 C0	0	54533.0923
FO 1 C0	343	53918.1601
FO 1 C0	1210	44068.9035
FO 1 C0	3643	42036.7301
FO 1 C0	3966	33993.3213
FO 1 C0	5077	26327.1287
FO 1 C0	5513	31471.9042
FO 1 C0	5745	29654.733
FO 2 C0	1210	41535.5626
FO 2 C0	1210	41258.7674
FO 2 C0	671	35790.0505
FO 2 C0	3966	34469.1154
FO 2 C0	1698	24324.3882
FO 2 C0	1698	24126.0411

La Tabla 5.10 muestra los resultados de aplicar el proceso mencionado al principio de la sección. Los valores de las variables de decisión resultantes de la optimización de la FO 1 C1 (minimizar distancia dentro del clúster 1) se usaron para calcular la FO 2 C1, es decir para calcular el valor de la segunda función objetivo que maximiza la cobertura de la demanda. Posteriormente se optimizó la FO 2 C1 y los valores resultantes de las variables de decisión se utilizaron para calcular la FO 1 C1.

Tabla 5.10 Optimización monocriterio C1

FO Optimizada	Demanda	Distancia
FO 1 C1	2694	202435.18
FO 1 C1	3266	182535.801
FO 1 C1	3749	171042.29
FO 1 C1	3387	145210.505
FO 1 C1	4164	124049.501
FO 1 C1	4497	121591.769
FO 2 C1	688	298352.99
FO 2 C1	2752	276187.401
FO 2 C1	3298	240913.444
FO 2 C1	3714	124198.207
FO 2 C1	8289	147253.75

La Tabla 5.11, muestra los resultados de la sustitución de los valores arrojados por la optimización de la FO 1 C2 (Minimizar distancia) en los cálculos de la FO 2 (Maximizar cobertura de la demanda) en el la zona de influencia dos. Posteriormente se repite el proceso pero ahora se optimiza la FO 2 C2 y se calcula manualmente el valor de la FO 1 C2.

Tabla 5.11 Optimización monocriterio C2

FO Optimizada	Demanda	Distancia
FO 1 C2	0	314893.456
FO 1 C2	0	258562.472
FO 1 C2	3434	223548.738
FO 1 C2	3434	220069.575
FO 1 C2	5787	213441.017
FO 1 C2	8981	161950.231
FO 1 C2	14221	157644.701
FO 1 C2	16309	142116.192
FO 1 C2	15026	141318.326
FO 1 C2	11213	129535.12
FO 2 C2	11213	129535.12
FO 2 C2	12624	129860.014
FO 2 C2	14402	128101.452
FO 2 C2	15026	141291.466
FO 2 C2	15047	152224.367
FO 2 C2	16121	139577.384

5.2.2.2 Optimización multicriterio

Una de las herramientas más potentes dentro de los algoritmos genéticos es la optimización multicriterio, pues permite encontrar un espacio de soluciones capaces de satisfacer dos o más objetivos a la vez. Las Figuras 5.8, 5.9 y 5.10 muestran los resultados de la optimización multicriterio para los clústeres cero, uno y dos respectivamente.

RESULTATS DE L'OPTIMISATION (FRONT DE PARETO)

Rang	v1	v2	c1	c2
1	484786.338	2149995.5	5513	27406.4315
1	485354.924	2149662.63	5294	26074.9151
1	485015.229	2149363.57	1558	24057.3052
1	485118.893	2149720.64	5123	25249.0512
1	485022.19	2149283.09	1698	24082.15
1	484722.534	2150076.47	5745	28251.3293
1	485225.328	2148841.98	2099	24740.3907

Figura 5.8 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 0

RESULTATS DE L'OPTIMISATION (FRONT DE PARETO)

Rang	v1	v2	c1	c2
1	482453.279	2147364.87	14961	117796.798
1	482517.586	2147338.93	14625	117642.63
1	482527.756	2147360.21	14105	117631.638
1	482369.164	2147403.08	15253	118447.646
1	482427.272	2147376.02	15085	117943.318
1	482499.909	2147345.88	14793	117655.227
1	482226.274	2147451.7	15737	120604.243
1	482528.785	2147358.26	13937	117631.487

Figura 5.9 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 1

RESULTATS DE L'OPTIMISATION (FRONT DE PARETO)

Rang	v1	v2	c1	c2
1	483099.078	2145314.58	21812	127246.658
1	483642.713	2145194.5	23231	140022.513
1	483221.37	2145413.86	21889	128467.706
1	483633.903	2145133.88	23223	139903.237
1	483675.538	2145356.36	23358	141766.032
1	483127.465	2145223.92	21705	127057.016
1	483300.584	2145447.24	22089	129852.213

Figura 5.10 Resultados de la hoja de Microsoft Excel de la optimización clúster 2

Además, la Figura 5.11 muestra de forma gráfica las mejores soluciones que arroja la optimización multicriterio. Uno de los criterios que comúnmente se utilizan para seleccionar las respuestas más deseadas dentro de este frente de Pareto es seleccionar la solución que se encuentra en el punto de inflexión de la curva.

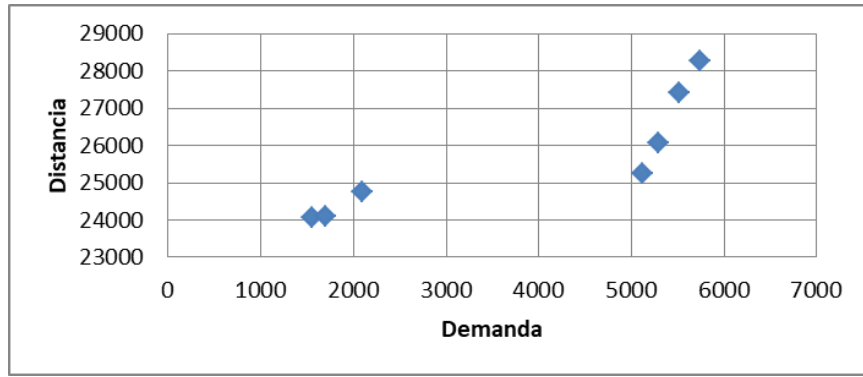


Figura 5.11 Frente de Pareto clúster 0

La Figura 5.12 corresponde al frente de Pareto de resultado de la optimización de las dos funciones objetivo, minimizar distancia y maximizar cobertura de la demanda, aplicadas al clúster número uno con el propósito de encontrar el punto ideal para la ubicación del centro de distribución.

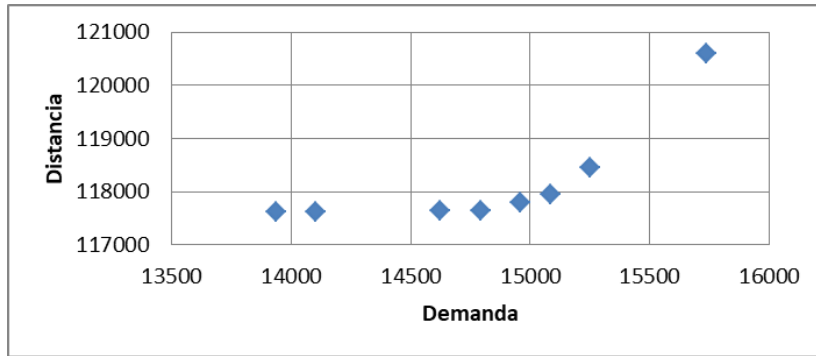


Figura 5.12 Frente de Pareto clúster 1

La Figura 5.13 corresponde al frente de Pareto de la optimización multicriterio dentro del clúster tres. Se pueden apreciar claramente dos grupos de soluciones, el primero favorece a la FO 1 que minimiza distancia pero no favorece la cobertura de la demanda y el otro grupo favorece a la FO 2 que maximiza la cobertura de la demanda pero no presenta buenos resultados para la FO 1.

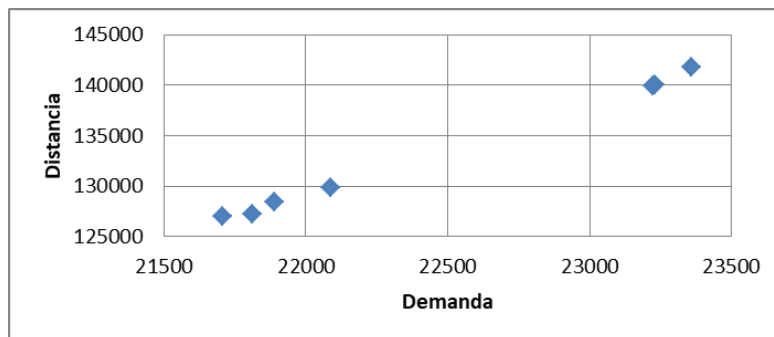


Figura 5.13 Frente de Pareto clúster 2

En la Figura 5.14, se muestra geográficamente la ubicación geográfica de los puntos de necesidad, los centros de distribución y el almacén.

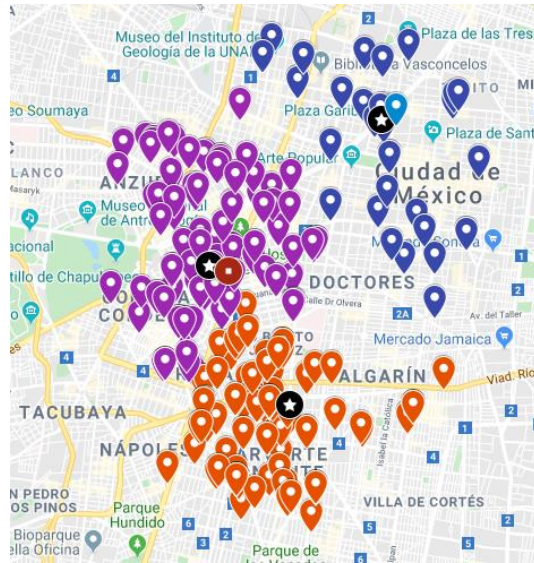


Figura 5.14 Mapa de la zona de estudio determinada

Los clústeres a los que pertenece cada punto se diferencian por el color azul, violeta y naranja. Los centros de distribución están representados por un círculo negro con una estrella blanca en el centro y el almacén general se representa por medio de un círculo rojo con un cuadro pequeño en el centro.

5.2.3 Determinación de los niveles de inventario

La Figura 5.15 muestra el comportamiento de los escenarios, el cual es muy parecido entre todos los escenarios indicando que no existe una diferencia significativa entre escenario para el centro de distribución del clúster cero.

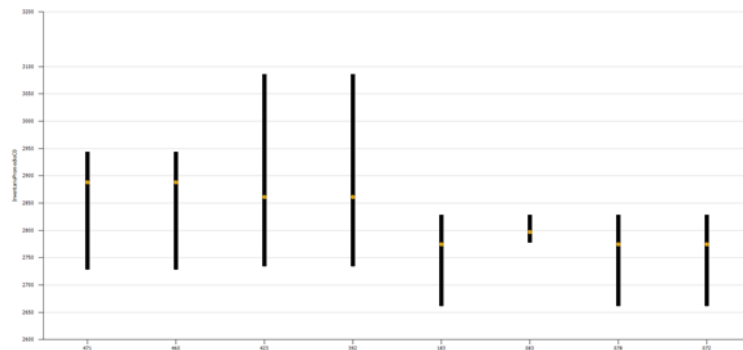


Figura 5.15 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 0

La Figura 5.16 muestra el comportamiento de los diferentes escenarios, a diferencia de los resultados del clúster cero, en el clúster uno se puede observar un comportamiento distinto en el escenario 95. Esta media, que es más baja que cualquier otro escenario, indica una diferencia significativa, causada por la falta de reaprovisionamiento en el centro de distribución del clúster 1.

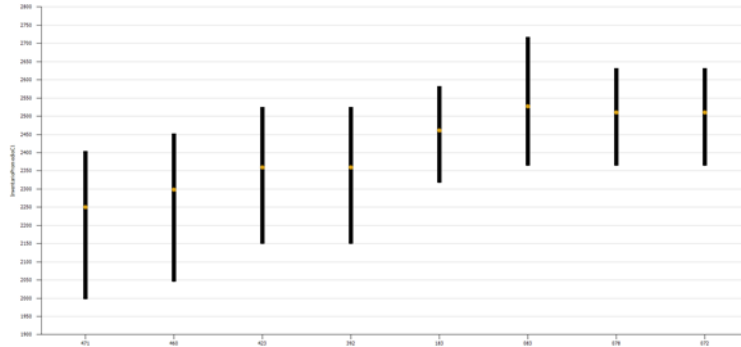


Figura 5.16 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 1

La Figura 5.17 muestra el comportamiento de los escenarios dentro del clúster 2. En comparación con el clúster anterior, los resultados obtenidos tienen un comportamiento similar, y de hecho no son significativamente diferentes debido a que todos los grupos se superponen.

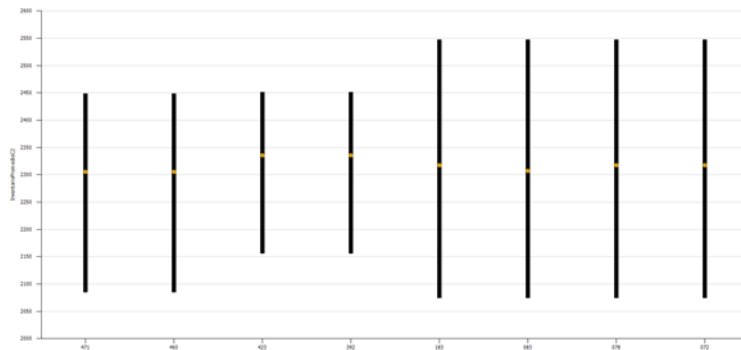


Figura 5.17 Gráfica de intervalos Inventario promedio del clúster 2

5.3 Conclusión

El SGC basado en un modelo multi-agente puede manejar la demora en la llegada de materias primas mientras considera escenarios de planificación que reflejan el contexto de la producción de café verde, escenarios donde la demanda está sesgada hacia el final del horizonte de planificación, donde la demanda es sesgada hacia el comienzo de la planificación, y donde la demanda alcanza su punto máximo en el medio del horizonte de planificación y cae por debajo de la capacidad disponible en los primeros y últimos días del horizonte. La exposición del proceso de gestión dentro del contexto de la CS de café verde

puede ayudar a los profesionales y gerentes interesados en implementar el enfoque de modelado y simulación basado en agentes para aumentar las posibilidades de adoptar con éxito la programación de producción agregada reactiva.

Respecto a la CS humanitaria, el SGC se centra en la selección de la ubicación de puntos de abastecimiento en zonas afectadas por un sismo con el objetivo de agilizar y optimizar los esfuerzos de respuesta al desastre: maximizando el beneficio a los damnificados y reduciendo la distancia que implica la distribución de víveres y materiales, y proponiendo los niveles de inventario deseables en los centros de distribución; de manera tal que se provean soluciones de forma rápida y basadas en datos. Los agentes de decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para i) la evaluación de campo, ii) coordinación y ubicación de instalaciones, y iii) gestión de almacenamiento e inventario.

Conclusiones y perspectivas

Dos CS caso de estudio son consideradas en esta investigación, la CS agroalimentaria y la CS humanitaria.

En referencia a la CS agroalimentaria el objetivo del trabajo de tesis se refirió a contribuir al estado de la investigación sobre la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación dentro del contexto de la agroindustria. Con este fin, se presentó un SGC basado en un modelo multi-agente utilizando la combinación de modelado y simulación basada en agentes y simulación de eventos discretos. Los datos de entrada en la CS agroalimentaria se toman de una CS de café verde. En este contexto, los agentes de decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para lograr i) la decisión con respecto a la estimación del rendimiento del café cereza obtenido en la plantación de café, y la decisión de verificación de la muestra de café pergamino; ii) la decisión de establecimiento del plan de producción; y iii) la decisión de actualización del plan de producción utilizando ecuaciones matemáticas una vez que el nivel de servicio al cliente cae por debajo del nivel esperado. Se consideraron tres escenarios de patrones de demanda para realizar los experimentos: creciente, unimodal y decreciente. El SGC basado en un modelo multi-agente puede manejar la demora en la llegada de materias primas mientras considera escenarios de planificación que reflejan el contexto de la producción de café verde, escenarios donde la demanda está sesgada hacia el final del horizonte de planificación, donde la demanda es sesgada hacia el comienzo de la planificación, y donde la demanda alcanza su punto máximo en el medio del horizonte de planificación y cae por debajo de la capacidad disponible en los primeros y últimos días del horizonte.

Respecto a la CS humanitaria el objetivo del trabajo se refirió a contribuir al estado de la investigación sobre la necesidad de herramientas analíticas que capturen la complejidad de la logística humanitaria y permitan a los tomadores de decisiones determinar el mejor curso de acción en las situaciones de desastre en relación a modelos de enrutamiento que incorporen costos de privación; modelos de asignación de inventario que incorporan costos de privación; logística inversa; pre posicionamiento de suministros; planeación de puntos de distribución; y asignación dinámica de recursos para gestionar la convergencia de materiales. El SGC se centra en la selección de la ubicación de puntos de abastecimiento en zonas afectadas por un sismo con el objetivo de agilizar y optimizar los esfuerzos de respuesta al desastre: maximizando el beneficio a los damnificados y reduciendo la distancia que implica la distribución de víveres y materiales, y proponiendo los niveles de inventario deseables en los centros de distribución; de manera tal que se provean soluciones de forma rápida y basadas en datos. Los agentes de decisión tienen el propósito de obtener conocimiento útil para i) la evaluación de campo, ii) coordinación y ubicación de instalaciones, y iii) gestión de

almacenamiento e inventario. Los datos de entrada en la CS humanitaria se tomaron del caso del terremoto en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017.

Aportación del estudio al estado del arte

La aportación al conocimiento de esta investigación en referencia a la CS agroalimentaria se enlista a continuación:

- Las reglas de toma de decisiones para los agentes decisión: (i) para el Agente Producción productor café cereza, la decisión con respecto a la estimación del rendimiento del café de cereza obtenido en la plantación de café, utilizando un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces; (ii) para el Agente Abastecimiento productor café verde, la decisión de verificación de la muestra de café pergamino, utilizando un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces; (iii) para el Agente Producción productor café verde, la decisión de establecimiento del plan de producción, utilizando un enfoque de reglas de toma de decisiones basado en la integración de un modelo de lógica difusa que involucra un motor de inferencia con reglas de tipo Si-Entonces y la representación basada en ecuaciones por medio de un modelo de programación entera mixta con el objetivo de maximizar el nivel de servicio al cliente y (iv) para el Agente Reprogramación productor café verde, la decisión de actualización de producción del plan, utilizando ecuaciones matemáticas una vez que el nivel de servicio al cliente cae por debajo del nivel esperado.
- Los resultados de la revisión realizada por Utomo, Onggo, & Eldridge (2017) reportan que la mayoría de las aplicaciones de modelado y simulación basadas en agentes en las cadenas de suministro agroalimentarias se centran en la simulación de la planificación de la producción y las decisiones de inversión. Sin embargo, aunque existe un volumen de literatura sobre aplicaciones de modelos y simulaciones basadas en agentes en las cadenas de suministro agroalimentarias, faltan estudios que consideren actores importantes, como procesadores y minoristas de alimentos en el alcance del modelo, dado que la mayoría de las aplicaciones de modelado y simulación basadas en agentes se centran en un eslabón. El trabajo de tesis contribuye a fortalecer esta rama de investigación.
- Una implicación teórica del uso de la perspectiva de modelado híbrido se refiere a su contribución para lograr la calidad del modelo como una medida de cómo el modelo de simulación basado en agentes representa adecuadamente los aspectos de interés en la CS de café verde, así como la ejecución simultánea de eventos y la mejora del rendimiento a través de la coordinación de agentes, ambos beneficios del modelado y

la simulación basados en agentes con la combinación de simulación de eventos discretos reportados por Zhou, Lee, & Nee (2008).

La aportación al conocimiento de esta investigación en referencia a la CS humanitaria se enlista a continuación:

- La formulación matemática para el problema de ubicación de instalaciones humanitarias en dos fases, la primera genera el segundo eslabón de la CS humanitaria y la segunda genera el primer eslabón. La primera fase consta de dos funciones objetivo, una que minimiza la sumatoria de la distancia desde cada punto de demanda hasta el punto de distribución dentro de cada clúster, la segunda función objetivo maximiza la cobertura de la demanda, tomando en cuenta la distancia máxima que una persona está dispuesta a caminar desde el punto de demanda hasta el punto de distribución que sirve a ese clúster; es en esta segunda función objetivo en la que se toma en cuenta la zona de influencia del punto de distribución, de manera tal que si un punto de demanda queda fuera de esta zona de influencia, esa demanda no será cubierta. La segunda fase consta de tres funciones objetivo: la primera minimiza la sumatoria de la distancia desde el punto de distribución en cada clúster hasta el almacén general, la segunda maximiza la utilidad generada por los puntos de distribución y la tercer función objetivo minimiza el tiempo de respuesta, es decir, el tiempo que toma transportar los víveres del almacén general a los puntos de distribución.
- En comparación con Balcik & Beamon (2008) que proponen la optimización monocriterio para la selección de centros de distribución de un grupo de ubicaciones candidatas, el presente trabajo de investigación propone por delimitar las zonas afectadas de acuerdo a sus características para determinar las ubicaciones de los centros de distribución mediante la optimización multi criterio con algoritmos genéticos.
- Tuzkaya, Yilmazer, & Tuzkaya (2015) proponen una metodología para la selección de centros de distribución candidatos, la cual se basa en DEMATEL (determina las relaciones causa-efecto entre factores). En el presente trabajo se utiliza la integración del enfoque de modelado de agentes y las técnicas de clústering y algoritmos genéticos para determinar las ubicaciones óptimas de los centros de distribución.

Aportación al desarrollo tecnológico y trabajo futuro

En primera instancia, en este estudio, intentamos abordar el desafío para la CS agroalimentaria con respecto a la necesidad de sistemas logísticos para la planificación y programación/reprogramación dentro de la agroindustria. Con este fin, se representó un SGC basado en un modelo multi-agente para una CS de café verde mexicano. Se consideraron tres escenarios de patrones de demanda para realizar los experimentos: demanda creciente,

demanda unimodal y demanda decreciente. Un modelo de simulación apuntala el SGC teniendo en cuenta el uso del enfoque orientado a los procesos del modelo de referencia SCOR, una perspectiva de modelado híbrido, modelado basado en agentes y simulación de eventos discretos, y un enfoque de control adaptativo. Una percepción general de los tomadores de decisiones dentro de la empresa focal con respecto a la funcionalidad del sistema de gestión del conocimiento se refiere a la respuesta efectiva del sistema a la perturbación causada por la demora en la llegada o la escasez de materias primas, lo que requiere un cambio en el plan de producción. El SGC basado en un modelo multi-agente puede manejar la demora en la llegada de materias primas mientras considera escenarios de planificación que reflejan el contexto de la producción de café verde, escenarios donde la demanda está sesgada hacia el final del horizonte de planificación, donde la demanda es sesgada hacia el comienzo de la planificación, y donde la demanda alcanza su punto máximo en el medio del horizonte de planificación y cae por debajo de la capacidad disponible en los primeros y últimos días del horizonte. La exposición del proceso de gestión dentro del contexto de la CS de café verde puede ayudar a los profesionales y gerentes interesados en implementar el enfoque de modelado y simulación basado en agentes para aumentar las posibilidades de adoptar con éxito la programación de producción agregada reactiva.

El trabajo futuro puede consistir en incluir procesos de gestión del conocimiento con respecto a la programación de la cosecha del café y la comercialización del café. El primero se refiere a la decisión de cosechar café cereza maduro. El corte de las cerezas en estado maduro da como resultado un aumento de peso en la báscula, además de facilitar el proceso de beneficio húmedo, disminuye el desperdicio cuando se procesa el café pergamino y los granos de café ganan calidad organoléptica. El segundo está relacionado con la negociación en la comercialización del café entre los actores de la cadena. Los parámetros de compra del café cereza incluyen la región del cultivo, la altura y la temperatura media anual de la plantación de café, la variedad de café, el porcentaje de granos maduros, el rendimiento del café pergamino y el tiempo transcurrido desde el corte. Los parámetros para el intercambio de café pergamino incluyen el porcentaje de cereza seca; porcentaje de humedad; ceder al café verde; uniformidad de color; el número de granos de café defectuosos con respecto al peso de la muestra analizada; granos de café significativamente libres de aromas inapropiados; y porcentaje de granos defectuosos en el lote de café.

En referencia a la CS humanitaria, el SGC considera las decisiones de evaluación de campo después de un desastre, coordinación y ubicación de instalaciones humanitarias, gestión de almacenamiento e inventario. Mediante la técnica de clústering se logra la evaluación de campo mediante la definición de la zona de estudio y las zonas de influencia para los centros de distribución. Los resultados obtenidos permiten enfocar los esfuerzos de respuesta en la zona que se definió de acuerdo a los objetivos de los tomadores de decisiones. Cabe destacar que este proceso puede replicarse para las diferentes características y necesidades de las diferentes sub-zonas del área de desastre en general. De igual forma puede escalarse y diseñar

una CS humanitaria con más eslabones. La optimización del modelo matemático mediante los algoritmos genéticos permite determinar las ubicaciones óptimas de los centros de distribución dentro de cada zona de influencia, de forma tal que el número de personas atendidas sea el mayor posible, tomando en cuenta el esfuerzo que representa recorrer una distancia desde su ubicación de necesidad hacia el centro de distribución. Se puede mejorar la respuesta a desastres mediante la preposición de artículos de socorro en la cantidad adecuada y en los lugares apropiados (Velasquez, Mayorga, & Cruz, 2019), para tales efectos se propone un modelo de simulación de eventos discretos que permite definir las cantidades más deseables de inventarios para los centros de distribución que permitan satisfacer la demanda su zona de influencia.

La respuesta rápida a las necesidades urgentes de ayuda inmediatamente después de los desastres naturales a través de una distribución logística de emergencia eficiente es vital para el alivio del impacto del desastre en las áreas afectadas, lo cual sigue siendo un desafío en el campo de la logística y las áreas de estudio relacionadas (Sheu, 2007) es por esto que los esfuerzos de investigación en el área de la logística humanitaria buscan la mejora continua de la CS humanitaria, pues de ello depende el salvaguardar la integridad de los afectados por el desastre. El trabajo futuro se refiere a la formulación y optimización matemática que permita determinar las mejores rutas para el transporte de víveres, tomando en cuenta los costos asociados y la disrupción de caminos.

Productividad

Tipo	Publicación	Título / DOI
Conferencia arbitrada	Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro 5 al 7 de octubre, Mérida, Yucatán	<i>The role of knowledge management in supply chain management: A literature review</i>
Artículo arbitrado	<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i> SCOPUS CiteScore 2018: 1.60 Editorial: OmniaScience	<i>The role of knowledge management in supply chain management: A literature review</i> DOI: 10.3926/jiem.2144
Artículo JCR	<i>International Journal of Production Research</i> Factor de impacto 2018: 3.199 Editorial: Taylor & Francis	<i>Processes and measurement of knowledge management in supply chains: an integrative a systematic literature review</i> DOI: 10.1080/00207543.2018.1521530
Artículo JCR	<i>Applied Sciences</i> Factor de impacto 2018: 2.217 Editorial: Multidisciplinary Digital Publishing Institute	<i>An agent-based model driven decision support system for reactive aggregate production scheduling in the green coffee supply chain</i> DOI: 10.3390/app9224903

Referencias

- Abounacer, R., Rekik, M., & Renaud, J. (2014). An exact solution approach for multi-objective location-transportation problem for disaster response. *Computers and Operations Research*, *41*(1), 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.08.001>
- Adewole, A. (2005). Developing a strategic framework for efficient and effective optimisation of information in the supply chains of the UK clothing manufacture industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, *10*(5), 357–366. <https://doi.org/10.1108/13598540510624188>
- Ahmadi, M., Seifi, A., & Tootooni, B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *75*, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.01.008>
- Akhavan, P., Elahi, B., & Jafari, M. (2014). A new integrated knowledge model in supplier selection. *Education, Business and Society: Contemporary Middle Eastern Issues*, *7*(4), 333–368. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2011-0362>
- Al-Karaghoul, W., Ghoneim, A., Sharif, A., & Dwivedi, Y. K. (2013). The effect of knowledge management in enhancing the procurement Process in the UK healthcare supply chain. *Information Systems Management*, *30*(1), 35–49. <https://doi.org/10.1080/10580530.2013.739888>
- Al-Mutawah, K., Lee, V., & Cheung, Y. (2009). A new multi-agent system framework for tacit knowledge management in manufacturing supply chains. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *20*(5), 593–610. <https://doi.org/10.1007/s10845-008-0142-0>
- Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *MIS Quarterly*, *25*(1), 107–136. <https://doi.org/10.2307/3250961>
- Albareda-Sambola, M., Hinojosa, Y., Marín, A., & Puerto, J. (2015). When centers can fail: A close second opportunity. *Computers and Operations Research*, *62*, 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.01.002>
- Ali, J., & Kumar, S. (2011). Information and communication technologies (ICTs) and farmers' decision-making across the agricultural supply chain. *International Journal of Information Management*, *31*(2), 149–159.
- Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation modeling and analysis with Arena*. United States of America: Elsevier.
- Anbumozhi, V., Gunjima, T., Prem Ananth, A., & Visvanathan, C. (2010). An assessment of inter-firm networks in a wood biomass industrial cluster: Lessons for integrated policymaking. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *12*(4), 365–372. <https://doi.org/10.1007/s10098-009-0246-z>

- Angeles, R. (2012). RFID critical success factors and system deployment outcomes as mitigated by IT infrastructure integration and supply chain process integration. *International Journal of Value Chain Management*, 6(3), 240–281. <https://doi.org/10.1504/IJVCM.2012.050864>
- Arora, A. S. (2012). The “organization” as an interdisciplinary learning zone: Using a strategic game to integrate learning about supply chain management and advertising. *The Learning Organization*, 19(2), 121–133. <https://doi.org/10.1108/09696471211201489>
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility Location in Humanitarian Relief. *International Journal of Logistics Research & Applications*, 11(2), 101–121.
- Bandyopadhyay, S., & Pathak, P. (2007). Knowledge sharing and cooperation in outsourcing projects - A game theoretic analysis. *Decision Support Systems*, 43(2), 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2006.10.006>
- Barbati, M., Bruno, G., & Genovese, A. (2012). Applications of agent-based models for optimization problems: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 6020–6028.
- Barzinpour, F., & Esmaeili, V. (2014). A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(5–8), 1291–1302. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5379-x>
- Baskaya, S., Ertem, M. A., & Duran, S. (2017). Pre-positioning of relief items in humanitarian logistics considering lateral transshipment opportunities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 57, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.09.001>
- Becker, M. C., & Zirpoli, F. (2003). Organizing new product development: Knowledge hollowing-out and knowledge integration – the FIAT Auto case. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(9), 1033–1061. <https://doi.org/10.1108/01443570310491765>
- Bell, M. G. H., Fonzone, A., & Polyzoni, C. (2014). Depot location in degradable transport networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 66, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.11.003>
- Bhosale, V. A., & Kant, R. (2016). Metadata Analysis of Knowledge Management in Supply Chain : Investigating the Past and Predicting the Future. *Business Process Management Journal*, 22(1), 140–172. <https://doi.org/10.1108/bpmj-02-2015-0014>
- Biotto, M., De Toni, A. I., & Nonino, F. (2012). Knowledge and cultural diffusion along the supply chain as drivers of product quality improvement: The illycaffè case study. *The International Journal of Logistics Management*, 23(2), 212–237. <https://doi.org/10.1108/09574091211265369>
- Blome, C., Schoenherr, T., & Eckstein, D. (2014). The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view. *International Journal*

-
- of Production Economics*, 147, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.028>
- Bolstorff, P., & Rosenbaum, R. (2007). *Supply chain excellence. A handbook for dramatic improvement using the SCOR model* (2nd. Ed.). New York: AMACOM.
- Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., & Labadie, N. (2016). Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art. *European Journal of Operational Research*, 254(2), 348–359.
- Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A., & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(1–3), 253–260.
- Bozkurt, M., & Duran, S. (2012). Effects of natural disaster trends: a case study for expanding the pre-positioning network of CARE International. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(8), 2863–2874. <https://doi.org/10.3390/ijerph9082863>
- Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2016). A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5–8), 1633–1648. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7923-3>
- Bozorgi-Amiri, Ali, Jabalameli, M. S., & Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*, 35(4), 905–933. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0268-x>
- Breite, R., & Koskinen, K. U. (2014). Supply chain as an autopoietic learning system. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(1), 10–16. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2013-0176>
- Bui, T., & Lee, J. (1999). An agent-based framework for building decision support systems. *Decision Support Systems*, 25(3), 225–237.
- Burkart, C., Nolz, P. C., & Gutjahr, W. J. (2017). Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics. *Annals of Operations Research*, 256(1), 41–61. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-2097-9>
- Cadden, T., Marshall, D., & Cao, G. (2013). Opposites attract: organisational culture and supply chain performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(1), 86–103. <https://doi.org/10.1108/13598541311293203>
- Cai, S., Goh, M., de Souza, R., & Li, G. (2013). Knowledge sharing in collaborative supply chains: twin effects of trust and power. *International Journal of Production Research*, 51(7), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.701780>
- Cantor, D. E., Blackhurst, J., Pan, M. Y., & Crum, M. (2014). Examining the role of stakeholder pressure and knowledge management on supply chain risk and demand
-

-
- responsiveness. *International Journal of Logistics Management*, 25(1), 202–223. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2012-0111>
- Cao, M., Vonderembse, M., Zhang, Q., & Ragu-Nathan, T. S. (2010). Supply chain collaboration: conceptualisation and instrument development. *International Journal of Production Research*, 48(22), 6613–6635. <https://doi.org/10.1080/00207540903349039>
- Capó-Vicedo, J., Mula, J., & Capó, J. (2011). A social network-based organizational model for improving knowledge management in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(5), 379–388. <https://doi.org/10.1108/13598541111155884>
- Celik, E. (2017). A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.02.020>
- Cerruti, C., & Delbufalo, E. (2009). International sourcing effectiveness in the fashion industry: The experience of Italian industrial districts. *International Journal of Globalisation and Small Business*, 3(4), 427–440. <https://doi.org/10.1504/IJGSB.2009.032261>
- Cervellon, M. C., & Wernerfelt, A. S. (2012). Knowledge sharing among green fashion communities online: Lessons for the sustainable supply chain. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 16(2), 176–192. <https://doi.org/10.1108/13612021211222860>
- Cha, H. S., Pingry, D. E., & Thatcher, M. E. (2008). Managing the knowledge supply chain: an organizacional learning model of information technology offshore outsourcing. *MIS Quarterly*, 32(2), 281–306. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/25148841>.
- Chan, Y. L., Cheung, C. F., Lee, W. B., & Kwok, S. K. (2006). Knowledge-based simulation and analysis of supply chain performance. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(1), 14–23. <https://doi.org/10.1080/09511920500174463>
- Chandra, C., & Kamrani, A. K. (2003). Knowledge management for consumer-focused product design. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14(6), 557–580. <https://doi.org/10.1023/A:1027358721819>
- Chandra, C., & Tumanyan, A. (2007). Organization and problem ontology for supply chain information support system. *Data and Knowledge Engineering*, 61(2), 263–280. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2006.06.005>
- Chatfield, D. C., Hayya, J. C., & Harrison, T. P. (2007). A multi-formalism architecture for agent-based, order-centric supply chain simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), 153–174.
- Chen, D. Q., Preston, D. S., & Xia, W. (2013). Enhancing hospital supply chain performance: A relational view and empirical test. *Journal of Operations Management*, 31(6), 391–408. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.07.012>
-

- Chen, H. H., Kang, H. Y., Xing, X., Lee, A. H. I., & Tong, Y. (2008). Developing new products with knowledge management methods and process development management in a network. *Computers in Industry*, 59(2–3), 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.06.020>
- Chen, Y. H., Lin, T. P., & Yen, D. C. (2014). How to facilitate inter-organizational knowledge sharing: The impact of trust. *Information & Management*, 51(5), 568–578. <https://doi.org/10.1016/j.im.2014.03.007>
- Chen, Y., & Li, L. (2006). Deriving information from CRM for knowledge management-A note on a commercial bank. *Systems Research and Behavioral Science*, 23(2), 141–146. <https://doi.org/10.1002/sres.756>
- Cheng, J. H., Yeh, C. H., & Tu, C. W. (2008). Trust and knowledge sharing in green supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 283–295. <https://doi.org/10.1108/13598540810882170>
- Chenok, Y. J., Chen, Y. M., & Wu, M. S. (2010). Development of an ontology-based expert recommendation system for product empirical knowledge consultation. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 18(3), 233–253. <https://doi.org/10.1177/1063293x10373824>
- Cheung, C. F., Cheung, C. M., & Kwok, S. K. (2012). A Knowledge-based Customization System for Supply Chain Integration. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 3906–3924. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.096>
- Cheung, M. S., & Myers, M. B. (2008). Managing knowledge sharing networks in global supply chains. *International Journal of Management and Decision Making*, 9(6), 581–599. <https://doi.org/10.1504/ijmdm.2008.021216>
- Cheung, M. S., Myers, M. B., & Mentzer, J. T. (2010). Does relationship learning lead to relationship value? A cross-national supply chain investigation. *Journal of Operations Management*, 28(6), 472–487. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.01.003>
- Cheung, M. S., Myers, M. B., & Mentzer, J. T. (2011). The value of relational learning in global buyer-supplier exchanges: a dyadic perspective and test of the pie-sharing premise. *Strategic Management Journal*, 32(10), 1061–1082. <https://doi.org/10.1002/smj.926>
- Chirumalla, K. (2013). Managing Knowledge for Product-Service System Innovation: The Role of Web 2.0 Technologies. *Research-Technology Management*, 56(2), 45–53. <https://doi.org/10.5437/08956308x5602045>
- Choi, T. Y., Budny, J., & Wank, N. (2004). Intellectual property management: a knowledge supply chain perspective. *Business Horizons*, 47(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2003.11.006>
- Chong, A. Y. L., Chan, F. T. S., Goh, M., & Tiwari, M. K. (2013). Do interorganisational relationships and knowledge-management practices enhance collaborative commerce

- adoption? *International Journal of Production Research*, 51(7), 1–13. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.701776>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management: Strategy, Planning, and Operation*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Choy, K. L., Tan, K. H., & Chan, F. T. S. (2007). Design of an intelligent supplier knowledge management system - An integrative approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(2), 195–211. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM627>
- Condeixa, L. D., Leiras, A., Oliveira, F., & de Brito, I. (2017). Disaster relief supply pre-positioning optimization: A risk analysis via shortage mitigation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.09.007>
- Corso, M., Dogan, S. F., Mogre, R., & Perego, A. (2010). The role of knowledge management in supply chains: Evidence from the Italian food industry. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2–3), 163–183. <https://doi.org/10.1504/IJNVO.2010.031216>
- Corso, M., & Paolucci, E. (2001). Fostering innovation and knowledge transfer in product development through information technology. *International Journal of Technology Management*, 22(1–3), 126–148. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2001.002958>
- Craighead, C. W., Hult, G. T. M., & Ketchen Jr., D. J. (2009). The effects of innovation-cost strategy, knowledge, and action in the supply chain on firm performance. *Journal of Operations Management*, 27(5), 405–421. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2009.01.002>
- Das, L. (2016). Role of Humanitarian Supply Chain Management in Various Disaster Situations Across the Globe. In B. S. Sahay, S. Gupta, & V. C. Menon (Eds.), *Managing Humanitarian Logistics* (pp. 253–271). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7>
- de Vries, E. J., & Brijder, H. G. (2000). Knowledge management in hybrid supply channels: a case study. *International Journal of Technology Management*, 20(5–8), 569–587. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2000.002882>
- Derr, K. T. (1999). *Managing Knowledge the Chevron Way*. Knowledge Management World Summit, San Francisco, California. Retrieved from <https://www.chevron.com>
- Douligeris, C., & Tilipakis, N. (2006). A knowledge management paradigm in the supply chain. *EuroMed Journal of Business*, 1(1), 66–83. <https://doi.org/10.1108/14502190610750108>
- Döyen, A., Aras, N., & Barbarosoğlu, G. (2012). A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. *Optimization Letters*, 6(6), 1123–1145. <https://doi.org/10.1007/s11590-011-0421-0>

- Duhamel, C., Santos, A. C., Brasil, D., Châtelet, E., & Birregah, B. (2016). Connecting a population dynamic model with a multi-period location-allocation problem for post-disaster relief operations. *Annals of Operations Research*, 247(2), 693–713. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-2104-1>
- Earl, M. (2001). Knowledge management strategies: Toward a taxonomy. *Journal of Management Information Systems*, 18(1), 215–233. <https://doi.org/10.1080/07421222.2001.11045670> PLEASE
- Eng, T. Y. (2006). An investigation into the mediating role of cross-functional coordination on the linkage between organizational norms and SCM performance. *Industrial Marketing Management*, 35(6), 762–773. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.05.014>
- Espinosa-Solares, T., Cruz-Castillo, J. G., Montesinos-López, O. A., & Hernández-Montes, A. (2005). Raw coffee processing yield affected more by cultivar than by harvest date. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 89(3–4), 169–180.
- Estampe, D., Lamouri, S., Paris, J. L., & Brahim-djelloul, S. (2013). A framework for analysing supply chain performance evaluation models. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 247–258.
- Fahey, L., Srivastava, R., Sharon, J. S., & Smith, D. E. (2001). Linking e-business and operating processes: The role of knowledge management. *IBM Systems Journal*, 40(4), 889–907. <https://doi.org/10.1147/sj.404.0889>
- FAO. (2019). FAOSTAT. Retrieved March 27, 2019, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Feria-Morales, A. M. (2002). Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. *Food Quality and Preference*, 13(6), 355–367.
- Fleischmann, B., Meyr, H., & Wagner, M. (2002). Advanced Planning. In H. Stadtler & C. Kilger (Eds.), *Supply chain management and advanced planning. Concepts, Models, Software and Case Studies* (3rd. Ed., pp. 81–106). Berlin: Springer.
- Flores, W. C., & Pineda, G. M. (2016). A type-2 fuzzy logic system approach to train Honduran coffee cuppers. In *2016 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence* (pp. 1–7).
- Fugate, B. S., Autry, C. W., Davis-Sramek, B., & Germain, R. N. (2012). Does knowledge management facilitate logistics-based differentiation? the effect of global manufacturing reach. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 496–509. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.008>
- Fugate, B. S., Stank, T. P., & Mentzer, J. T. (2009). Linking improved knowledge management to operational and organizational performance. *Journal of Operations Management*, 27(3), 247–264. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2008.09.003>

- Gambetti, R. C., & Giovanardi, M. (2013). Re-visiting the supply chain: a communication perspective. *Corporate Communications: An International Journal*, 18(4), 390–416. <https://doi.org/10.1108/CCIJ-03-2012-0021>
- Ghosh, P., & Venkatachalapathy, N. (2014). Processing and Drying of Coffee - A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(12), 784–794.
- Golabi, M., Shavarani, S. M., & Izbirak, G. (2017). An edge-based stochastic facility location problem in UAV-supported humanitarian relief logistics: a case study of Tehran earthquake. *Natural Hazards*, 87(3), 1545–1565. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2832-4>
- Gold, A. H., Malhotra, A., & Segars, A. H. (2001). Knowledge management: an organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, 18(1), 688–698. <https://doi.org/10.1080/07421222.2001.11045669>
- Görmez, N., Köksalan, M., & Salman, F. S. (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239–1252. <https://doi.org/10.1057/jors.2010.67>
- Govindu, R., & Chinnam, R. B. (2007). MASCF: A generic process-centered methodological framework for analysis and design of multi-agent supply chain systems. *Computers and Industrial Engineering*, 53(4), 584–609. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.003>
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17, 109–122.
- Grundspenkis, J., & Kirikova, M. (2005). Impact of the Intelligent Agent Paradigm on Knowledge Management. In C. T. Leondes (Ed.), *Intelligent Knowledge-Based Systems: Business and Technology in the New Millennium* (pp. 164–206). Boston, MA: Springer US.
- Gutjahr, W. J., & Dzubur, N. (2016). Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.11.001>
- Habib, M. S., Lee, Y. H., Memon, M. S., Habib, M. S., Lee, Y. H., & Memon, M. S. (2016). Mathematical Models in Humanitarian Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2016/3212095>
- Haghi, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Jolai, F. (2017). Developing a robust multi-objective model for pre/post disaster times under uncertainty in demand and resource. *Journal of Cleaner Production*, 154, 188–202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.102>
- Halley, A., Nollet, J., Beaulieu, M., Roy, J., & Bigras, Y. (2010). The impact of the supply chain on core competencies and knowledge management: directions for future research. *International Journal of Technology Management*, 49(4), 297.

<https://doi.org/10.1504/ijtm.2010.030160>

- Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Perdana, T. (2015). Value Co-creation in Agri-chains Network: An Agent-Based Simulation. *Procedia Manufacturing*, 4, 419–428.
- Hasanzadeh, H., & Bashiri, M. (2016). An efficient network for disaster management: Model and solution. *Applied Mathematical Modelling*, 40(5–6), 3688–3702. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.09.113>
- Hayes-Roth, B. (1995). An architecture for adaptive intelligent systems. *Artificial Intelligence*, 72(1–2), 329–365.
- He, J., Feng, C., Hu, D., & Liang, L. (2017). A Decision Model for Emergency Warehouse Location Based on a Novel Stochastic MCDA Method: Evidence from China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7804781>
- Hedtrich, F., Loy, J. P., & Müller, R. A. E. (2009). Prediction markets: a powerful tool for supply network management? *British Food Journal*, 111(8), 811–819. <https://doi.org/10.1108/00070700910980937>
- Heisig, P. (2009). Harmonisation of knowledge management – comparing 160 KM frameworks around the globe. *Journal of Knowledge Management*, 13(4), 4–31.
- Heisig, P. (2015). Future Research in Knowledge Management: Results from the Global Knowledge Research Network Study. In E. Bolisani & M. Handzic (Eds.), *Advances in Knowledge Management: Celebrating Twenty Years of Research and Practice* (Vol. 1, pp. 151–182). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09501-1_7
- Hernández-Espallardo, M., Rodríguez-Orejuela, A., & Sánchez-Pérez, M. (2010). Inter-organizational governance, learning and performance in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(2), 101–114. <https://doi.org/10.1108/13598541011028714>
- Hernández, G., Escamilla, S., Velázquez, T., & Martínez, J. L. (2013). Análisis de la cadena de suministro del café en el Centro de Veracruz: situación actual, retos y oportunidades. In R. López, V. D. J. Sosa, G. Díaz, & H. A. Contreras (Eds.), *Cafeticultura en la zona centro del Estado de Veracruz. Diagnóstico, productividad y servicios ambientales*. (pp. 8–36). Medellín de Bravo, Veracruz: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <http://www.colver.edu.mx/files/2013/12/Art-20131201-GHernandezM.pdf>
- Higgins, A. J., Miller, C. J., Archer, A. A., Ton, T., Fletcher, C. S., & McAllister, R. R. J. (2010). Challenges of operations research practice in agricultural value chains. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 964–973.
- Hilletoft, P., Aslam, T., & Hilmola, O. P. (2010). Multi-agent-based supply chain management: a case study of requisites. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2–3), 184–206. <https://doi.org/10.1504/IJNVO.2010.031217>

- Hilletofth, P., & Lättilä, L. (2012). Agent based decision support in the supply chain context. *Industrial Management & Data Systems*, 112(8), 1217–1235.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7–8), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>
- Hong, X., Lejeune, M. A., & Noyan, N. (2015). Stochastic network design for disaster preparedness. *IIE Transactions*, 47(4), 329–357. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.919044>
- Huang, C. C., & Lin, S. H. (2010). Sharing knowledge in a supply chain using the semantic web. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 3145–3161. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.067>
- Huang, T. T. A., Stewart, R. A., & Chen, L. (2010). Identifying key enablers to improve business performance in Taiwanese electronic manufacturing companies. *International Journal of Operations & Production Management*, 30(2), 155–180. <https://doi.org/10.1108/01443571011018699>
- Hult, G. T. M., Ketchen, D. J., & Arrfelt, M. (2007). Strategic supply chain management: improving performances through a culture of competitiveness and knowledge development. *Strategic Management Journal*, 28(10), 1035–1052. <https://doi.org/10.1002/smj.627>
- Hult, G. T. M., Ketchen, D. J., Cavusgil, S. T., & Calantone, R. J. (2006). Knowledge as a strategic resource in supply chains. *Journal of Operations Management*, 24(5), 458–475. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.11.009>
- Hult, G. T. M., Ketchen, D. J., & Slater, S. F. (2004). Information processing, knowledge development, and strategic supply chain performance. *Academy of Management Journal*, 47(2), 241–253.
- Hung, S. W., Chen, P. C., & Chung, C. F. (2014). Gaining or losing? The social capital perspective on supply chain members' knowledge sharing of green practices. *Technology Analysis & Strategic Management*, 26(2), 189–206. <https://doi.org/10.1080/09537325.2013.850475>
- Im, G., & Rai, A. (2008). Knowledge sharing ambidexterity in long-term interorganizational relationships. *Management Science*, 54(7), 1281–1296. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0902>
- Irani, Z., Sharif, A., Kamal, M. M., & Love, P. E. D. (2014). Visualising a knowledge mapping of information systems investment evaluation. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.015>
- Jahre, M., Kembro, J., Rezvanian, T., Ergun, O., Håpnes, S. J., & Berling, P. (2016). Integrating supply chains for emergencies and ongoing operations in UNHCR. *Journal of*

-
- Operations Management*, 45, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2016.05.009>
- Jain, L. C., Lim, C. P., & Nguyen, N. T. (2009). Innovations in knowledge processing and decision making in agent-based systems. In L. C. Jain & N. T. Nguyen (Eds.), *Knowledge Processing and Decision Making in Agent-Based Systems* (pp. 1–12). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Jean, R. J. B., Sinkovics, R. R., & Hiebaum, T. P. (2014). The effects of supplier involvement and knowledge protection on product innovation in customer-supplier relationships: A study of global automotive suppliers in China. *Journal of Product Innovation Management*, 31(1), 98–113. <https://doi.org/10.1111/jpim.12082>
- Jüttner, U., & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: an empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(4), 246–259. <https://doi.org/10.1108/13598541111139062>
- Kaewboonma, N., Tuamsuk, K., & Kanarkard, W. (2013). Knowledge Acquisition for the Design of Flood Management Information System: Chi River Basin, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 73, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.02.029>
- Kai, Q., Wei, C., & Meng-Lin, B. (2014). Green supply chain knowledge sharing mechanism based on principal-agent theory. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(6), 1631–1639. Retrieved from <http://www.jocpr.com/>
- Kant, R., & Singh, M. D. (2009). Knowledge management implementation in supply chains: a strategic plan. *International Journal of Business Information Systems*, 4(6), 655. <https://doi.org/10.1504/ijbis.2009.026697>
- Kayakutlu, G., & Büyüközkan, G. (2010). Effective supply value chain based on competence success. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(2), 129–138. <https://doi.org/10.1108/13598541011028732>
- Ke, W., & Wei, K. K. (2007). Factors affecting trading partners' knowledge sharing: Using the lens of transaction cost economics and socio-political theories. *Electronic Commerce Research and Applications*, 6(3), 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2006.06.006>
- Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, 52, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2015.09.002>
- Kiessling, T., Harvey, M., & Moeller, M. (2012). Supply-chain corporate venturing through acquisition: Key management team retention. *Journal of World Business*, 47(1), 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2010.10.023>
- Kilci, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.035>
-

- Kim, K. K., Umanath, N. S., Kim, J. Y., Ahrens, F., & Kim, B. (2012). Knowledge complementarity and knowledge exchange in supply channel relationships. *International Journal of Information Management*, 32(1), 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2011.05.002>
- Ko, M., Tiwari, A., & Mehnen, J. (2010). A review of soft computing applications in supply chain management. *Applied Soft Computing*, 10(3), 661–674. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.09.004>
- Koh, S. C. L., & Tan, K. H. (2006). Translating knowledge of supply chain uncertainty into business strategy and actions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(4), 472–485. <https://doi.org/10.1108/17410380610662898>
- Kovács, G., & Spens, K. (2010). Knowledge sharing in relief supply chains. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2–3), 222–239. <https://doi.org/10.1504/ijnvo.2010.031219>
- Labarthe, O., Tranvouez, E., Ferrarini, A., Espinasse, B., & Montreuil, B. (2003). A heterogeneous multi-agent modelling for distributed simulation of supply chains. In V. Marik, D. McFarlane, & P. Valckenaers (Eds.), *Holonic and Multi-agent systems for manufacturing* (p. 333). Springer.
- Labarthe, Olivier, Espinasse, B., Ferrarini, A., & Montreuil, B. (2007). Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), 113–136.
- Lambert, D. M., & García-Dastugue, S. J. (2005). An evaluation of process-oriented supply chain management frameworks. *Journal of Business Logistics*, 26(1), 25–51.
- Lau, H. C. W., Ho, G. T. S., Zhao, Y., & Chung, N. S. H. (2009). Development of a process mining system for supporting knowledge discovery in a supply chain network. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 176–187. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.014>
- Lawson, S. (2003). *Examining the relationship between organizational culture and knowledge management*. Nova Southeastern University.
- Le, H. Q., Arch-Int, S., Nguyen, H. X., & Arch-Int, N. (2013). Association rule hiding in risk management for retail supply chain collaboration. *Computers in Industry*, 64(7), 776–784. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.04.011>
- Lee, J. H., & Kim, C. O. (2008). Multi-agent systems applications in manufacturing systems and supply chain management: A review paper. *International Journal of Production Research*, 46(1), 233–265.
- Li, J., & Chan, F. T. S. (2013). An agent-based model of supply chains with dynamic structures. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5403–5413.

-
- <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.10.054>
- Li, X., & Hu, J. (2012). Business impact analysis based on supply chain's knowledge sharing ability. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 1302–1307. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.425>
- Li, Y., Liu, Y., & Liu, H. (2011). Co-opetition, distributor's entrepreneurial orientation and manufacturer's knowledge acquisition: Evidence from China. *Journal of Operations Management*, 29(1–2), 128–142. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.07.006>
- Li, Y., Tarafdar, M., & Rao, S. S. (2012). Collaborative knowledge management practices: Theoretical development and empirical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 32, 398–422. <https://doi.org/10.1108/01443571211223077>
- Liao, S. H., Chen, C. M., & Wu, C. H. (2008). Mining customer knowledge for product line and brand extension in retailing. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 1763–1776. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.01.036>
- Liao, S. H., Chen, Y. N., & Tseng, Y. Y. (2009). Mining demand chain knowledge of life insurance market for new product development. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9422–9437. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.053>
- Liew, C. B. A. (2008). Strategic integration of knowledge management and customer relationship management. *Journal of Knowledge Management*, 12(4), 131–146. <https://doi.org/10.1108/13673270810884309>
- Lin, H. F. (2014). The impact of socialization mechanisms and technological innovation capabilities on partnership quality and supply chain integration. *Information Systems and E-Business Management*, 12(2), 285–306. <https://doi.org/10.1007/s10257-013-0226-z>
- Lintukangas, K. (2011). Supplier relationship management capability in global supply management. *International Journal of Procurement Management*, 4(1), 1–19. <https://doi.org/10.1504/ijpm.2011.037382>
- Liu, H., Ke, W., Wei, K. K., & Hua, Z. (2013a). Effects of supply chain integration and market orientation on firm performance: Evidence from China. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(3), 322–346. <https://doi.org/10.1108/01443571311300809>
- Liu, H., Ke, W., Wei, K. K., & Hua, Z. (2013b). The impact of IT capabilities on firm performance: The mediating roles of absorptive capacity and supply chain agility. *Decision Support Systems*, 54(3), 1452–1462. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.12.016>
- Liu, S., Leat, M., Moizer, J., Megicks, P., & Kasturiratne, D. (2013). A decision-focused knowledge management framework to support collaborative decision making for lean supply chain management. *International Journal of Production Research*, 51(7), 1–15. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.709646>
-

- Liu, Y., Huang, Y., Luo, Y., & Zhao, Y. (2012). How does justice matter in achieving buyer-supplier relationship performance? *Journal of Operations Management*, 30(5), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.03.003>
- Liu, Yajie, & Guo, B. (2014). A Lexicographic Approach to Postdisaster Relief Logistics Planning Considering Fill Rates and Costs under Uncertainty. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/939853>
- Livio, J., Flores, W. C., Hodhod, R., & Umphress, D. (2018). Smart fuzzy cupper: Employing approximate reasoning to derive coffee bean quality scoring from individual attributes. In *IEEE International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 1–7).
- Livio, J., & Hodhod, R. (2018). AI Cupper: A Fuzzy Expert System for Sensorial Evaluation of Coffee Bean Attributes to Derive Quality Scoring. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6), 3418–3427.
- Lockamy III, A., & McCormack, K. (2004). Linking SCOR planning practices to supply chain performance An exploratory study. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(12), 1192–1218.
- Long, Q. (2014). Distributed supply chain network modelling and simulation : integration of agent-based distributed simulation and improved SCOR model. *International Journal of Production Research*, 52(23), 6899–6917. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.910623>
- Lopez, G., & Eldridge, S. (2010). A working prototype to promote the creation and control of knowledge in supply chains. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2–3), 150–162. <https://doi.org/10.1504/IJNVO.2010.031215>
- Lu, Q., Meng, F., & Goh, M. (2014). Choice of supply chain governance: Self-managing or outsourcing? *International Journal of Production Economics*, 154, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.03.022>
- Maçada, A. C. G., Costa, J. C., Oliveira, M., & Curado, C. (2013). Information management and knowledge sharing in supply chains operating in Brazil. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 13(1), 18–35. <https://doi.org/10.1504/ijatm.2013.052777>
- Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144–156.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162.
- Machikita, T., & Ueki, Y. (2012). Impacts of incoming knowledge on product innovation: technology transfer in auto-related industries in developing economies. *Asian Journal of Technology Innovation*, 20(sup1), 9–27. <https://doi.org/10.1080/19761597.2012.683948>

- Machikita, T., & Ueki, Y. (2013). Knowledge transfer channels to Vietnam for process improvement. *Management Decision*, 51(5), 954–972. <https://doi.org/10.1108/MD-08-2012-0600>
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2018). A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, JHLSCM-08-2017-0040. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-08-2017-0040>
- Malhotra, A., Gosain, S., & El Sawy, O. A. (2005). Absorptive capacity configurations in supply chains: gearing for partner-enabled market knowledge creation. *MIS Quarterly*, 29(1), 145–187.
- Malhotra, A., Gosain, S., & El Sawy, O. A. (2007). Leveraging standard electronic business interfaces to enable adaptive supply chain partnerships. *Information Systems Research*, 18(3), 260–279. <https://doi.org/10.1287/isre.1070.0132>
- Manuj, I., & Sahin, F. (2011). A model of supply chain and supply chain decision-making complexity. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5), 511–549. <https://doi.org/10.1108/09600031111138844>
- Mařík, V., & McFarlane, D. (2005). Industrial adoption of agent-based technologies. *IEEE Intelligent Systems*, 20(1), 27–35.
- Marra, M., Ho, W., & Edwards, J. S. (2012). Supply chain knowledge management: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 6103–6110. <https://doi.org/10.1108/13598540510612721>
- Mattia, A. (2012). A multi-dimensional view of agent-based decisions in supply chain management. *Communications of the IBIMA*, 2012. <https://doi.org/10.5171/2012.658483>
- Mayring, P. (2015). Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures. In A. Bikner-Ahsbabs, C. Knipping, & N. Presmeg (Eds.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education: Examples of Methodology and Methods* (pp. 365–380). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6_13
- Mazzola, E., & Perrone, G. (2013). A strategic needs perspective on operations outsourcing and other inter-firm relationships. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.012>
- McCoy, A. P., Thabet, W., & Badinelli, R. (2009). Understanding the role of developer/builders in the concurrent commercialization of product innovation. *European Journal of Innovation Management*, 12(1), 102–128. <https://doi.org/10.1108/14601060910928193>
- McCrea, B. (2016). Winning the Knowledge Race. *Supply & Demand Chain Executive*, 16–17. Retrieved from http://issuu.com/supplydemandchainfoodlogistics/docs/sdc0516_ihs?e=16809490/350763

- Mejia-Argueta, C., Gaytán, J., Caballero, R., Molina, J., & Vitoriano, B. (2018). Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods. *International Transactions in Operational Research*, 25(3), 1053–1079. <https://doi.org/10.1111/itor.12508>
- Méndez, C. A., Cerdá, J., Grossmann, I. E., Harjunkski, I., & Fahl, M. (2006). State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Computers and Chemical Engineering*, 30(6–7), 913–946. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2006.02.008>
- Mentzas, G., Apostolou, D., Kafentzis, K., & Georgolios, P. (2006). Inter-organizational networks for knowledge sharing and trading. *Information Technology and Management*, 7(4), 259–276. <https://doi.org/10.1007/s10799-006-0276-8>
- Min, H. (2010). Artificial intelligence in supply chain management: theory and applications. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 13(1), 13–39.
- Modi, S. B., & Mabert, V. A. (2007). Supplier development: Improving supplier performance through knowledge transfer. *Journal of Operations Management*, 25(1), 42–64. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.02.001>
- Monostori, L., Váncza, J., & Kumara, S. R. T. (2006). Agent-based systems for manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 55(2), 697–720.
- More, D., & Basu, P. (2013). Challenges of supply chain finance: A detailed study and a hierarchical model based on the experiences of an Indian firm Dileep. *Business Process Management Journal*, 19(4), 624–647. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-09-2012-0093>
- Moyer, L. G. (2005). Integrating e-learning and knowledge management. In J. Davis, E. Subrahmanian, & A. Westerberger (Eds.), *Knowledge management: Organizational and technological dimensions* (pp. 191–204). Physica-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-7908-1618-3_12
- Muggy, L., & Heier Stamm, J. L. (2017). Dynamic, robust models to quantify the impact of decentralization in post-disaster health care facility location decisions. *Operations Research for Health Care*, 12, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2017.01.002>
- Muñoz, E., Capón-García, E., Laínez, J. M., España, A., & Puigjaner, L. (2013). Considering environmental assessment in an ontological framework for enterprise sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 47, 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.032>
- Mustapha, K., Tranvouez, E., Espinasse, B., & Ferrarini, A. (2010). An organization-oriented methodological framework for agent-based supply chain simulation. In *Proceedings of the 4th International Conference on Research Challenges in Information Science* (pp. 353–364).

- Nachiappan, S. P., Gunasekaran, A., & Jawahar, N. (2007). Knowledge management system for operating parameters in two-echelon VMI supply chains. *International Journal of Production Research*, 45(11), 2479–2505. <https://doi.org/10.1080/00207540601020478>
- Nadi, A., & Edrisi, A. (2017). Adaptive multi-agent relief assessment and emergency response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.05.010>
- Nagati, H., & Rebolledo, C. (2013). Improving operational performance through knowledge exchange with customers. *Production Planning & Control*, 24(8–9), 658–670. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.666843>
- Najafi, M., Farahani, R. Z., De Brito, M. P., & Dullaert, W. (2015). Location and Distribution Management of Relief Centers: A Genetic Algorithm Approach. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14(04), 769–803. <https://doi.org/10.1142/S0219622014500382>
- Nikabadi, M. S. (2014). A framework for technology-based factors for knowledge management in supply chain of auto industry. *Vine*, 44(3), 375–393. <https://doi.org/10.1108/VINE-09-2013-0057>
- Nikabadi, M. S., & Zamanloo, S. O. Z. (2012). A Multidimensional Structure for Describing the Influence of Supply Chain Strategies, Business Strategies, and Knowledge Management Strategies on Knowledge Sharing in Supply Chain. *International Journal of Knowledge Management*, 8(4), 50–70. <https://doi.org/10.4018/jkln.2012100103>
- Nissen, M. E. (1999). Knowledge-based knowledge management in the reengineering domain. *Decision Support Systems*, 27(1), 47–65. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(99\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(99)00036-6)
- Norbis, M., Meixell, M. J., & Tuggle, F. D. (2013). Modelling security in the maritime supply chain using knowledge constructs. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 15(4), 359. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2013.054897>
- Oke, A., Prajogo, D. I., & Jayaram, J. (2013). Strengthening the innovation chain: The role of internal innovation climate and strategic relationships with supply chain partners. *Journal of Supply Chain Management*, 49(4), 43–58. <https://doi.org/10.1111/jscm.12031>
- Ordoobadi, S. M., & Wang, S. (2011). A multiple perspectives approach to supplier selection. *Industrial Management & Data Systems*, 111(4), 629–648. <https://doi.org/10.1108/02635571111133588>
- Oshri, I., Pan, S. L., & Newell, S. (2005). Trade-offs between knowledge exploitation and exploration activities. *Knowledge Management Research & Practice*, 3(1), 10–23. <https://doi.org/10.1057/palgrave.kmrp.8500042>
- Paton, R. A., & McLaughlin, S. (2008). Services innovation: Knowledge transfer and the supply chain. *European Management Journal*, 26(2), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2008.01.004>

- Paulo, E. M., & Furlani Jr., E. (2010). Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. *Scientia Agricola*, 67(6), 720–726.
- Paulraj, A., Lado, A. A., & Chen, I. J. (2008). Inter-organizational communication as a relational competency: Antecedents and performance outcomes in collaborative buyer-supplier relationships. *Journal of Operations Management*, 26(1), 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.04.001>
- Pawłowsky, P., & Schmid, S. (2012). Interrelations between strategic orientation, knowledge management, innovation and performance . Empirical findings from a national survey in Germany. *International Journal of Knowledge Management Studies*, 5(1–2), 185–209. <https://doi.org/10.1504/ijkms.2012.051911>
- Pedroso, M. C., & Nakano, D. (2009). Knowledge and information flows in supply chains: A study on pharmaceutical companies. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.012>
- Persson, F. (2011). SCOR template - A simulation based dynamic supply chain analysis tool. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 288–294. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.029>
- Phanden, R. K., Jain, A., & Verma, R. (2011). Integration of process planning and scheduling: A state-of-the-art review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(6), 517–534.
- Pino, R., Fernández, I., Fuente, D. D. La, Parreño, J., & Priore, P. (2010). Supply chain modelling using a multi-agent system. *Journal of Advances in Management Research*, 7(2), 149–162.
- Power, D. J., & Sharda, R. (2007). Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. *Decision Support Systems*, 43(3), 1044–1061.
- Prakash, A., Chan, F. T. S., Liao, H., & Deshmukh, S. G. (2012). Network optimization in supply chain: A KBGA approach. *Decision Support Systems*, 52(2), 528–538. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.10.024>
- Purwaningrum, F., & Evers, H. D. (2012). Knowledge flow in the academia-industry collaboration or supply chain linkage? Case study of the automotive industries in the Jababeka Cluster. *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, 52, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.442>
- Qi, K., & Chen, W. (2014). Research on green supply chain knowledge sharing mechanism. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 32(6), 8077–8086. Retrieved from <http://www.silascience.com/>
- Raisinghani, M. S., & Meade, L. L. (2005). Strategic decisions in supply-chain intelligence using knowledge management: an analytic-network-process framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(2), 114–121.

<https://doi.org/10.1108/13598540510589188>

- Rao, N. H. (2007). A framework for implementing information and communication technologies in agricultural development in India. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.02.002>
- Rath, S., & Gutjahr, W. J. (2014). A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief. *Computers and Operations Research*, 42, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.07.016>
- Reese, A. (2013). Catch the knowledge. *Supply & Demand Chain Executive*, (May), 7–11. Retrieved from http://issuu.com/supplydemandchainfoodlogistics/docs/sdc0516_ihs?e=16809490/35076330
- Renkli, Ç., & Duran, S. (2015). Pre-Positioning Disaster Response Facilities and Relief Items. *Human and Ecological Risk Assessment*, 21(5), 1169–1185. <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.957940>
- Rennemo, S. J., Rø, K. F., Hvattum, L. M., & Tirado, G. (2014). A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62, 116–135. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.006>
- Rezaei-Malek, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). An interactive approach for designing a robust disaster relief logistics network with perishable commodities. *Computers and Industrial Engineering*, 94, 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.01.014>
- Rodríguez-Espíndola, O., & Gaytán, J. (2015). Scenario-based preparedness plan for floods. *Natural Hazards*, 76(2), 1241–1262. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1544-2>
- Rollins, M., Pekkarinen, S., & Mehtälä, M. (2011). Inter-firm customer knowledge sharing in logistics services: an empirical study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(10), 956–971. <https://doi.org/10.1108/09600031111185239>
- Rubenstein-Montano, B., Liebowitz, J., Buchwalter, J., McCaw, D., Newman, B., & Rebeck, K. (2001). A systems thinking framework for knowledge management. *Decision Support Systems*, 31(1), 5–16.
- Ryoo, S. Y., & Kim, K. K. (2015). The impact of knowledge complementarities on supply chain performance through knowledge exchange. *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3029–3040.
- Rzevski, G., Andreev, M., Skobelev, P., Shveykin, P., Tugashev, A., & Tsarev, A. (2007). Adaptive Planning for Supply Chain Networks. In *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing* (pp. 215–224). Springer Berlin Heidelberg.

-
- Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2017). A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains. *Decision Support Systems*, 95, 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2016.11.006>
- Salmeron, J., & Apte, A. (2010). Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning.Pdf. *Production and Operations Management*, 19(5), 561–574. <https://doi.org/10.3401/poms.1080.01119>
- Samaddar, S., Nargundkar, S., & Daley, M. (2006). Inter-organizational information sharing: The role of supply network configuration and partner goal congruence. *European Journal of Operational Research*, 174(2), 744–765. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.059>
- Samuel, K. E., Goury, M. L., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2011). Knowledge management in supply chain: An empirical study from France. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(3), 283–306. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2010.11.001>
- Sangari, M. S., Hosnavi, R., & Zahedi, M. R. (2015). The impact of knowledge management processes on supply chain performance: An empirical study. *The International Journal of Logistics Management*, 26(3), 603–626.
- Santa-Eulalia, L. A., D'Amours, S., & Frayret, J.-M. (2012). Agent-based simulations for advanced supply chain planning and scheduling: The FAMASS methodological framework for requirements analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(10), 963–980.
- Sawik, T. (2007a). Integer programming approach to reactive scheduling in make-to-order manufacturing. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(11–12), 1373–1387.
- Sawik, T. (2007b). Multi-objective master production scheduling in make-to-order manufacturing. *International Journal of Production Research*, 45(12), 2629–2653.
- Schuff, D., Paradice, D., Burstein, F., Power, D. J., & Sharda, R. (2010). *Decision Support: An Examination of the DSS Discipline*. Springer Science & Business Media.
- Sherwood, A. L., & Covin, J. G. (2008). Knowledge acquisition in university industry alliances: An empirical investigation from a learning theory perspective. *Journal of Product Innovation Management*, 25(2), 162–179. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2008.00292.x>
- Shih, S. C., Hsu, S. H. Y., Zhu, Z., & Balasubramanian, S. K. (2012). Knowledge sharing—A key role in the downstream supply chain. *Information & Management*, 49(2), 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.im.2012.01.001>
- Shunk, D. L., Carter, J. R., Hovis, J., & Talwar, A. (2007). Electronics industry drivers of intermediation and disintermediation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(3), 248–261. <https://doi.org/10.1108/09600030710742443>
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and Managing the*
-

Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies. McGraw Hill.

- Singh, P. J., & Power, D. (2013). Innovative knowledge sharing, supply chain integration and firm performance of Australian manufacturing firms. *International Journal of Production Research*, 52(21), 6416–6433. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.859760>
- Sivakumar, K., & Roy, S. (2004). Knowledge redundancy in supply chains: a framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(3), 241–249. <https://doi.org/10.1108/13598540410544935>
- Smith, A. D. (2009). Customer relationship management: a look at incentive programmes and their usefulness in selected service firms. *International Journal of Business Innovation and Research*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1504/ijbir.2009.021652>
- Sterman, J. D. (2002). All models are wrong: Reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18(4), 501–531. <https://doi.org/10.1002/sdr.261>
- Su, H. Y., Fang, S. C., & Young, C. S. (2013). Influences of relationship transparency from intellectual capital reporting on supply chain partnerships with suppliers: a field experiment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(2), 178–193. <https://doi.org/10.1108/13598541311318818>
- Suarez-Barraza, M. F., Miguel-Davila, J., & Vasquez-García, C. F. (2016). Supply chain value stream mapping: a new tool of operation management. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 33(4), 518–534.
- Supply Chain Council. (2010). Supply Chain Operations Reference Model. Version 10.0. The Supply Chain Council, Inc.
- Swaminathan, J. M., Smith, S. F., & Sadeh, N. M. (1998). Modeling supply chain dynamics: A multiagent approach. *Decision Sciences*, 29(3), 607–632.
- Tah, J. H. M., & Carr, V. (2001). Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain. *Advances in Engineering Software*, 32(10), 835–846. <https://doi.org/10.4203/ccp.58.10.2>
- Tatikonda, M. V., & Stock, G. N. (2003). Product technology transfer in the upstream supply chain. *Journal of Product Innovation Management*, 20(6), 444–467. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.00042>
- Tennant, S., & Fernie, S. (2013). Organizational learning in construction supply chains. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(1), 83–98. <https://doi.org/10.1108/09699981311288691>
- Thomas, R. W., Fugate, B. S., & Koukova, N. T. (2011). Coping with time pressure and knowledge sharing in buyer-supplier relationships. *Journal of Supply Chain Management*, 47(3), 22–42. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493x.2011.03229.x>

- Thomas, S. P., Thomas, R. W., Manrodt, K. B., & Rutner, S. M. (2013). An experimental test of negotiation strategy effects on knowledge sharing intentions in buyer-supplier relationships. *Journal of Supply Chain Management*, 49(2), 96–113. <https://doi.org/10.1111/jscm.12004>
- Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.059>
- Tsolakis, N. K., Keramydas, C. A., Toka, A. K., Aidonis, D. A., & Iakovou, E. T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*, 120, 47–64.
- Turban, E., Aronson, J. E., & Liang, T. P. (2005). *Decision support systems and intelligent systems* (7th Ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Turban, Efraim, Aronson, J. E., & Liang, T.-P. (2007). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice Hall.
- Tuzkaya, U. R., Yilmazer, K. B., & Tuzkaya, G. (2015). An integrated methodology for the emergency logistics centers location selection problem and its application for the Turkey case. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 12(1), 121–144. <https://doi.org/10.1515/jhsem-2013-0107>
- Ukkusuri, S., & Yushimito, W. (2008). Location Routing Approach for the Humanitarian Prepositioning Problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2089, 18–25. <https://doi.org/10.3141/2089-03>
- Ulieru, M., Norrie, D., Kremer, R., & Shen, W. (2000). A multi-resolution collaborative architecture for web-centric global manufacturing. *Information Sciences*, 127(1), 3–21. [https://doi.org/10.1016/s0020-0255\(00\)00026-8](https://doi.org/10.1016/s0020-0255(00)00026-8)
- Utomo, D. S., Onggo, B. S., & Eldridge, S. (2017). Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 794–805.
- Uusipaavalniemi, S., & Juga, J. (2009). Information integration in maintenance services. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(1), 92–110. <https://doi.org/10.1108/17410400910921100>
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 290–306. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.10.015>
- van der Vorst, J. G. A. J., Beulens, A. J. M., & van Beek, P. (2005). Innovations in logistics and ICT in food supply chain networks. In W. M. F. Jongen & M. T. G. Meulenberg (Eds.), *Innovations in Agri-Food Systems. Product quality and consumer acceptance* (pp.

- 245–292).
- van der Vorst, J. G. A. J., van Kooten, O., & Luning, P. A. (2011). Towards a diagnostic instrument to identify improvement opportunities for quality controlled logistics in agrifood supply chain networks. *Journal on Food System Dynamics*, 2(1), 94–105.
- van der Vorst, Jack G A J, & Beulens, A. J. M. (2002). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 409–430.
- van der Vorst, Jack G A J, Tromp, S., & van der Zee, D.-J. (2009). Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. *International Journal of Production Research*, 47(23), 6611–6631.
- van der Zee, D. J., & van der Vorst, J. G. A. J. (2005). A modeling framework for supply chain simulation: opportunities for improved decision making. *Decision Sciences*, 36(1), 65–95.
- Van Hoof, B. (2014). Organizational learning in cleaner production among Mexican supply networks. *Journal of Cleaner Production*, 64, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.041>
- Vanajakumari, M., Kumar, S., & Gupta, S. (2016). An integrated logistic model for predictable disasters. *Production and Operations Management*, 25(5), 791–811. <https://doi.org/10.1111/poms.12533>
- Vargas Florez, J., Lauras, M., Okongwu, U., & Dupont, L. (2015). A decision support system for robust humanitarian facility location. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 326–335.
- Verdouw, C. N., Robbemon, R. M., Verwaart, T., Wolfert, J., & Beulens, A. J. M. (2015). A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains. *Enterprise Information Systems*, 12(7), 755–779.
- Verma, A., & Tiwari, M. K. (2009). Role of corporate memory in the global supply chain environment. *International Journal of Production Research*, 47(19), 5311–5342. <https://doi.org/10.1080/00207540801918570>
- Verma, Anurag, & Gaukler, G. M. (2015). Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches. *Computers and Operations Research*, 62, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.10.006>
- Vieira, G. E., Herrmann, J. W., & Lin, E. (2003). Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies, and methods. *Journal of Scheduling*, 6(1), 39–62.
- Viswanadham, N., & Gaonkar, R. (2009). A conceptual and analytical framework for management of integrated knowledge based logistics providers. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 5(1–2), 191–209.

<https://doi.org/10.1504/ijlsm.2009.021651>

- Wadhwa, S., & Saxena, A. (2007). Decision knowledge sharing: flexible supply chains in KM context. *Production Planning & Control*, 18(5), 436–452. <https://doi.org/10.1080/09537280701450661>
- Wadhwa, S., Saxena, A., & Bibhushan. (2006). Flexible supply chains: A context for decision knowledge sharing and decision delays. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 7(3–4), 25–39.
- Wamba, S. F. (2012). Achieving supply chain integration using RFID technology: The case of emerging intelligent B-to-B e-commerce processes in a living laboratory. *Business Process Management Journal*, 18(1), 58–81. <https://doi.org/10.1108/14637151211215019>
- Wang, C., Fergusson, C., Perry, D., & Antony, J. (2008). A conceptual case-based model for knowledge sharing among supply chain members. *Business Process Management Journal*, 14(2), 147–165. <https://doi.org/10.1108/14637150810864907>
- Wang, X., Wong, T. N., & Fan, Z. P. (2013). Ontology-based supply chain decision support for steel manufacturers in China. *Expert Systems with Applications*, 40(18), 7519–7533. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.061>
- Warkentin, M., Sugumaran, V., & Sainsbury, R. (2012). The role of intelligent agents and data mining in electronic partnership management. *Expert Systems with Applications*, 39(18), 13277–13288. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.074>
- Waters, D. (2003). *Supply Chain Management: An Introduction to Logistics* (Second). New York: PALGRAVE MACMILLAN. Retrieved from <https://www.amazon.com/Supply-Chain-Management-Introduction-Logistics/dp/0230200524>
- Whitman, L. E., & Panetto, H. (2006). The missing link: Culture and language barriers to interoperability. *Annual Reviews in Control*, 30(2), 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2006.09.008>
- Wiengarten, F., Humphreys, P., McKittrick, A., & Fynes, B. (2013). Investigating the impact of e-business applications on supply chain collaboration in the German automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(1), 25–48. <https://doi.org/10.1108/01443571311288039>
- Wong, W. P., & Wong, K. Y. (2011). Supply chain management, knowledge management capability, and their linkages towards firm performance. *Business Process Management Journal*, 17(6), 940–964. <https://doi.org/10.1108/14637151111182701>
- Worasinchai, L., & Daneshgar, F. (2012). Identifying knowledge transfer requirement in global organisational contexts. *International Journal of Innovation and Learning*, 12(4), 353–363. <https://doi.org/10.1504/IJIL.2012.049349>

- Wowak, K. D., Craighead, C. W., Ketchen, D. J., & Hult, G. T. M. (2013). Supply chain knowledge and performance: A meta-analysis. *Decision Sciences*, 44(5), 843–875. <https://doi.org/10.1111/dec.12039>
- Wu, C. (2008). Knowledge creation in a supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(3), 241–250. <https://doi.org/10.1108/13598540810871280>
- Wu, D. J. (2001). Software agents for knowledge management: coordination in multi-agent supply chains and auctions. *Expert Systems with Applications*, 20(1), 51–64.
- Wynn, M., & Olubanjo, O. (2012). Demand-supply chain management: systems implications in an SME packaging business in the UK. *International Journal of Manufacturing Research*, 7(2), 198–212. <https://doi.org/10.1504/IJMR.2012.046803>
- Xiuhong, W. (2013). Knowledge Transfer Research in the Supply Chain Based on System Dynamic Model. *Journal of Convergence Information Technology*, 8(5), 522–529. <https://doi.org/10.4156/jcit.vol8.issue5.59>
- Yang, J. (2012a). A structural model of supply chain performance in an emerging economy. *International Journal of Production Research*, 50(14), 3895–3903. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.603373>
- Yang, J. (2012b). Harnessing value in knowledge management for performance in buyer–supplier collaboration. *International Journal of Production Research*, 51(7), 1–8. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.701774>
- Yasmine, A. S. L. E., Ghani, B. A., Trentesaux, D., & Bouziane, B. (2014). Supply Chain Management Using Multi-Agent Systems in the Agri-Food Industry. In T. Borangiu, D. Trentesaux, & A. Thomas (Eds.), *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics* (pp. 145–155). Springer.
- Yazici, H. J. (2012). Buyer perceptions on the buyer-supplier collaborative relationship and performance: a service example. *International Journal of Services and Operations Management*, 12(2), 165–187. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2012.047104>
- Ye, Y., Yang, D., Jiang, Z., & Tong, L. (2008). Ontology-based semantic models for supply chain management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(11–12), 1250–1260. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1052-6>
- Yu, W., Jacobs, M. A., Salisbury, W. D., & Enns, H. (2013). The effects of supply chain integration on customer satisfaction and financial performance: An organizational learning perspective. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 346–358. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.023>
- Zacharia, Z. G., Nix, N. W., & Lusch, R. F. (2011). Capabilities that enhance outcomes of an episodic supply chain collaboration. *Journal of Operations Management*, 29(6), 591–603. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2011.02.001>

-
- Zadeh, L. a. (1996). Fuzzy logic equals Computing with words. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions On*, 4(2), 103–111. <https://doi.org/10.1109/91.493904>
- Zernand-Vilson, M., & Elenurm, T. (2010). Differences in implementing management and organization development directions between domestic and foreign companies in Estonia. *Baltic Journal of Management*, 5(1), 82–99. <https://doi.org/10.1108/17465261011016577>
- Zhang, M., & Huo, B. (2013). The impact of dependence and trust on supply chain integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(7), 544–563. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-10-2011-0171>
- Zhang, W. J., & Xie, S. Q. (2007). Agent technology for collaborative process planning: A review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3–4), 315–325.
- Zhang, X., Chen, W., Tong, J., & Liu, X. (2012). Relational mechanisms, market contracts and cross-enterprise knowledge trading in the supply chain. *Chinese Management Studies*, 6(3), 488–508. <https://doi.org/10.1108/17506141211259159>
- Zhou, R., Lee, H. P., & Nee, A. Y. C. (2008). Simulating the generic job shop as a multi-agent system. *International Journal Intelligent Systems Technologies and Applications*, 4(1–2), 5–33.
- Zhu, X., Mukhopadhyay, S. K., & Kurata, H. (2012). A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2011.09.011>
- Zimon, D., & Domingues, P. (2018). Proposal of a concept for improving the sustainable management of supply chains in the textile industry. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 26(2), 8–12.