

Aplicaciones de inteligencia artificial en procesos de cadenas de suministros: una revisión sistemática

Applications of artificial intelligence in supply chain process: a systematic review

Gabriel A. Icarte Ahumada^{1*}

Recibido 17 de diciembre de 2015, aceptado 7 de marzo de 2016

Received: December 17, 2015 Accepted: March 7, 2016

RESUMEN

Una cadena de suministro (SC) es una red de empresas que producen, venden y entregan un producto o servicio a un segmento de mercado predeterminado. No solo incluye a los fabricantes y proveedores, sino que también a transportistas, almacenes, minoristas y los propios clientes, entre otros. Debido al avance tecnológico, específicamente en áreas como las comunicaciones, procesamiento computacional, gestión y almacenamiento de información, es posible apoyar a la administración de cadenas de suministros pudiendo hacerla más eficiente. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha sido aplicada en diferentes procesos de SC pero no hay conocimiento específico sobre cuáles técnicas de IA están siendo aplicadas (o no) en los procesos de la SC o cuáles actividades de la SC están siendo apoyadas (o no) con técnicas de IA. Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue establecer de forma empírica el aporte de la IA en procesos de la SC, para luego establecer actividades de investigación a realizarse en el futuro. Para lograr esto, se realizó una revisión sistemática considerando el modelo SCOR como referencia para procesos de una SC. Los principales resultados indican que los algoritmos genéticos y los agentes inteligentes son las técnicas más investigadas para procesos de la SC relacionados con la planificación y, en menor medida, a procesos relacionados con la entrega de productos. Además, existe una tendencia a incluir la incertidumbre como trabajo futuro en diferentes técnicas de IA de manera que los modelos se acerquen más a la realidad.

Palabras clave: Inteligencia artificial, modelo SCOR, revisión sistemática, cadena de suministros.

ABSTRACT

A supply chain (SC) is a network of companies that produce, sell and deliver a product or service to a specific market segment. Not only includes manufacturers and suppliers, but also transporters, warehouses, retailers and customers, among others. Due to technological advances, specifically in areas such as communications, computer processing and information storage, it can support the supply chain management more efficiently. In this context, the artificial intelligence (AI) has been applied in different SC processes, but there is not specific knowledge about which techniques of IA are being applied (or not) in the SC processes or what SC process are being supported (or not) with AI techniques. Based on the aforementioned, the aim of this study was to establish empirically the contribution of AI in the SC process, in order to establish research activities for the future. To accomplish this, a systematic review was conducted considering the SCOR reference model for SC processes. The main results indicate that genetic algorithms and intelligent agents are the most investigated for SC processes related to planning activities and, to a lesser extent, to processes related to the delivery of products. There is also a tendency to include uncertainty as future work in different AI techniques to approach the models to the reality.

Keywords: Artificial intelligence, SCOR model, systematic review, supply chain.

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Arturo Prat. Avda. Arturo Prat #2120. Iquique, Chile. E-mail: gicarte@unap.cl

* Autor de correspondencia

INTRODUCCIÓN

Según [1], una cadena de suministro (SC) es una red de empresas que producen, venden y entregan un producto o servicio a un segmento de mercado predeterminado. No solo incluye a los fabricantes y proveedores, sino también a transportistas, almacenes, minoristas y los propios clientes, entre otros. Para que esta red sea fructífera, se hace necesario administrar la relación entre los participantes y sus respectivos recursos, lo que es realizado por la gestión de la cadena de suministros (SCM), la que implica procesos de planificación, puesta en ejecución y control de las operaciones de la red de suministro con el propósito de satisfacer las necesidades del cliente con tanta eficacia como sea posible [2]. Debido al avance tecnológico, específicamente en áreas como las comunicaciones, procesamiento computacional, gestión y almacenamiento de información, es posible apoyar a la administración de cadenas de suministros pudiendo hacerla más eficiente. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha sido aplicada en diferentes procesos de SCM tales como la gestión de la compra de materiales, gestión de transporte, gestión de producción, gestión de almacén, gestión de inventario, entre otras, pero no hay conocimiento específico sobre cuáles técnicas de IA están siendo aplicadas (o no) en los procesos de la SCM o cuáles actividades de la SCM están siendo apoyadas (o no) con técnicas de IA.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue establecer de forma empírica el aporte de la inteligencia artificial en procesos de la administración de cadenas de suministros, para luego establecer actividades de investigación a realizarse en el futuro. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión sistemática considerando el procedimiento propuesto en [3].

El trabajo realizado se muestra en las siguientes secciones de este artículo: en la sección “Método de recolección de datos” se presenta el procedimiento utilizado para realizar la revisión sistemática. La sección “Resultados” muestra los resultados de búsqueda obtenidos presentándolos de manera resumida así como también los criterios de selección de artículos para un análisis más profundo. Una discusión sobre los artículos seleccionados se presenta en la sección “Discusión”. Por último un resumen y conclusiones se presentan en la sección “Conclusiones”.

MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según [3], una revisión sistemática es un medio para evaluar e interpretar toda la investigación pertinente y disponible sobre una pregunta de investigación, área temática o fenómeno de interés; tienen como objetivo presentar una evaluación razonable de un tema de investigación mediante el uso de una metodología fiable, rigurosa y auditable. Con base en esto, se llevo a cabo una revisión sistemática basada en el procedimiento propuesto en [3], considerando el desarrollo de las siguientes etapas: planificación de la revisión, desarrollar la revisión y reportar la revisión.

La planificación de la revisión tuvo como objetivo definir diferentes elementos que permitieron soportar y guiar el proceso. En este sentido, se estableció el objetivo de la revisión, las preguntas de investigación, la estrategia de búsqueda, los criterios de selección y la información a extraer.

Con respecto al objetivo de la revisión, este fue establecer de forma empírica el aporte de la IA en procesos de la SC para de esta manera establecer actividades de investigación a realizarse en el futuro. A partir de este objetivo se definieron las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué técnicas de IA son las más/menos aplicadas en procesos de la SC?
- ¿Qué procesos de la SC han sido más/menos abordadas por técnicas de IA?
- ¿Cuáles son las principales fuentes de información que reúnen la investigación relacionada a IA - SCM?
- ¿Cuáles son los países que más realizan investigación sobre este tema?

En relación a la estrategia de búsqueda, esta implicó determinar las fuentes de información donde se realizarían las búsquedas y, los términos y condiciones de la búsqueda. La fuente de información en la que se realizó la búsqueda fue la base de datos electrónica Web of Science, principalmente por la cantidad de revistas científicas indexadas en esa plataforma. Para definir los términos de búsquedas fue necesario especificar cuáles técnicas de IA y cuáles procesos de la SC serían considerados en la revisión. Para determinar las técnicas de IA consideradas se

utilizó la propuesta señalada en [4] la cual señala las siguientes técnicas:

- Data mining
- Genetic algorithm
- Fuzzy logic
- Neural network
- Ontology
- Decision tree
- Intelligent agents

Determinar los procesos de la SC a considerar en esta revisión fue mas complejo ya que en una SC la cantidad de procesos es mucho mayor que la cantidad de técnicas de IA. Además, en los artículos, un proceso puede ser mencionado de diferentes maneras. Debido a lo anterior, en el término de búsqueda no se incluyeron procesos en específico, por lo que se decidió utilizar el término “Supply chain”.

Con base en lo anterior, se determinó y utilizó el siguiente término de búsqueda: (“data mining” or “genetic algorithm” or “fuzzy logic” or “neural network” or “ontology” or “decision tree” or “agent”) and “supply chain”. Como criterio adicional se estableció que el año de la publicación del artículo debía ser igual o superior al 2009.

El alcance de esta revisión sistemática consideró la revisión en profundidad de 50 artículos. Se estableció que si la cantidad de artículos que cumplían las condiciones señaladas anteriormente era mayor, tendrían que seleccionarse una muestra proporcional al total por cada técnica de IA.

Con respecto a la información a extraer se estableció que cierta información sería extraída desde los artículos presentes en los resultados de la búsqueda

y otra información sería extraída desde los artículos seleccionados para un estudio más profundo. De los artículos presentes en los resultados de búsqueda se extrajo la siguiente información:

- Año de publicación,
- Revista en que fue publicado y,
- Técnica de IA utilizada

De los artículos seleccionados se extrajo, además, la siguiente información:

- País de los autores (primera afiliación);
- Proceso de SC abordado;
- Técnica de IA utilizada en proceso de SC abordado;
- Implementación y resultados obtenidos y;
- Trabajo futuro.

Para determinar el proceso de la SC a considerar se utilizó como marco de referencia el modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference Model) ya que, a diferencia de otros modelos, proporciona un marco único que vincula procesos de negocio, métricas, mejores prácticas y características de la tecnología en una estructura unificada para apoyar la comunicación entre los participantes de una SC y, de esta manera, mejorar la eficacia y propiciar actividades de mejora en la gestión en la SC.

El modelo en sí contiene varias secciones y se organiza en torno a seis procesos de gestión primarias, o nivel 1: Plan, Source, Make, Deliver, Return y Enable. Utilizando estos procesos, el modelo puede ser usado para describir cadenas de suministro que son muy simples o muy complejas utilizando un conjunto común de definiciones [5], tal como lo muestra la Figura 1.

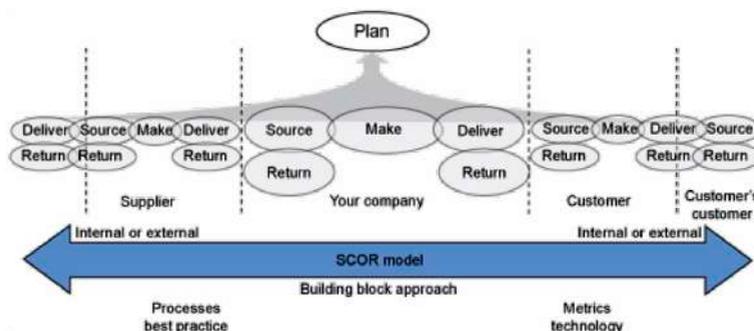


Figura 1. Modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*).

Los procesos definidos en SCOR proporcionan un conjunto de descripciones predefinidas para las actividades que la mayoría de las empresas realizan para ejecutar eficazmente sus cadenas de suministro. Además de los procesos de nivel 1, el modelo SCOR identifica dos niveles más que permiten especificar procesos con más detalles. La Figura 2 muestra los niveles y ejemplos de los procesos del modelo SCOR.

La siguiente etapa en la revisión sistemática correspondió a desarrollar la revisión y cuyos resultados se muestran en la siguiente sección. Por último, la etapa de reportabilidad de la revisión corresponde a este artículo.

RESULTADOS

Al ejecutar la planificación de la revisión sistemática descrita en la sección anterior, se obtuvo un total de 524 artículos en los resultados de búsqueda. Sobre estos artículos se extrajo el año de publicación, la revista en donde se publicó y la técnica de IA utilizada.

En relación a los años en que fueron publicados los artículos, se observa una tendencia en aumento de la

cantidad de artículos publicados, aunque en el año 2011 hubo un pequeño descenso, tal como lo muestra la Figura 3. Si bien en el año 2014 se muestra una drástica caída, esto se debe a que esta revisión fue realizada en julio del 2014 y el artículo más reciente presente en los resultados de búsqueda tiene fecha de publicación de abril del 2014. Extrapolando se podría señalar que el 2014 debería terminar con más artículos presentados que el 2013, confirmando la tendencia al alza en la publicación de artículos en los últimos años.

Con respecto a las revistas en que fueron publicados los artículos estos se encuentran en 118 revistas,



Figura 3. Distribución de artículos publicados por año.

	Level		Examples	Comments
	#	Description		
Within scope of SCOR	1	Process Types (Scope)	Plan, Source, Make, Deliver, Return and Enable	Level-1 defines scope and content of a supply chain. At level-1 the basis-of-competition performance targets for a supply chain are set.
	2	Process Categories (Configuration)	Make-to-Stock, Make-to-Order, Engineer-to-Order, Defective Products, MRO Products, Excess Products	Level-2 defines the operations strategy. At level-2 the process capabilities for a supply chain are set. (Make-to-Stock, Make-to-Order)
	3	Process Elements (Steps)	<ul style="list-style-type: none"> Schedule Deliveries Receive Product Verify Product Transfer Product Authorize Payment 	Level-3 defines the configuration of individual processes. At level-3 the ability to execute is set. At level-3 the focus is on the right: <ul style="list-style-type: none"> Processes Inputs and Outputs Process performance Practices Technology capabilities Skills of staff
Not in scope	4	Activities (Implementation)	Industry-, company-, location- and/or technology specific steps	Level-4 describes the activities performed within the supply chain. Companies implement industry-, company-, and/or location-specific processes and practices to achieve required performance

Figura 2. Niveles de procesos del modelo SCOR.

de las que 11 de ellas concentran el 54% de las publicaciones (283 artículos). De estas revistas, la que mayor cantidad de artículos publicados posee es “Expert Systems with Applications” con 70 artículos (13,38%) y le sigue “International Journal of Advanced Manufacturing Technology” con 46 artículos (8,8%). Lo anterior se aprecia en la Tabla 1, la que muestra las revistas con al menos cinco publicaciones.

Otra información a considerar en los resultados de búsqueda fue la técnica de IA utilizada en los artículos y que se muestra en la Figura 4. Se puede apreciar que la técnica más utilizada son los algoritmos genéticos con un 50% (262 artículos), seguido por agentes inteligentes con el 26% (140 artículos). La técnica menos utilizada fueron los árboles de decisión con 1,15% (6 artículos).

Se observa que el uso de algoritmos genéticos ha aumentado con el paso de los años, con excepción del

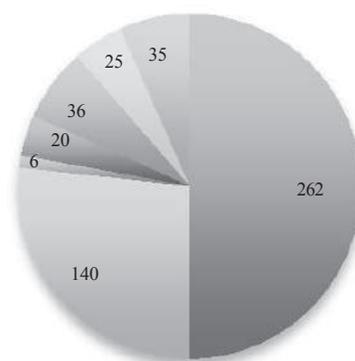


Figura 4. Distribución de artículos por técnica de IA.

2011. Por otra parte, el uso de agentes inteligentes ha disminuido, incrementando su descenso a partir del 2012. Las otras técnicas no muestran una disminución

Tabla 1. Artículos publicados por revista.

Revistas	Cant. artículos	%
<i>Expert Systems with Applications</i>	70	13,38
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	46	8,80
<i>International Journal of Production Economics</i>	37	7,07
<i>European Journal of Operational Research</i>	24	4,59
<i>Applied Mathematical Modelling</i>	20	3,82
<i>Computers & Industrial Engineering</i>	19	3,63
<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	17	3,25
<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	14	2,68
<i>Computers & Operations Research</i>	13	2,49
<i>Decision Support Systems</i>	12	2,29
<i>Production Planning & Control</i>	11	2,10
<i>Applied Soft Computing</i>	9	1,72
<i>Computers in Industry</i>	7	1,34
<i>Engineering Applications of Artificial Intelligence</i>	7	1,34
<i>Information Sciences</i>	7	1,34
<i>Mathematical Problems in Engineering</i>	7	1,34
<i>Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review</i>	7	1,34
<i>Computers & Chemical Engineering</i>	6	1,15
<i>Journal of Cleaner Production</i>	6	1,15
<i>Journal of the Operational Research Society</i>	6	1,15
<i>European Journal of Industrial Engineering</i>	5	0,96
<i>International Journal of Innovative Computing Information and Control</i>	5	0,96
<i>International Journal of Systems Science</i>	5	0,96
<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	5	0,96
<i>Knowledge-Based Systems</i>	5	0,96
<i>Or Spectrum</i>	5	0,96

o aumento significativo en su uso. Lo anterior puede ser apreciado en la Tabla 2 y Figura 5.

Luego de extraer la información de los 524 artículos presentes en los resultados de búsqueda se procedió con la selección de artículos para una revisión en detalle, de manera de extraer información con respecto al país de origen de los investigadores, el proceso de SCOR abordado, implementación y resultados obtenidos y, trabajo futuro. Como el alcance establecido para la revisión fue de 50 artículos, y los resultados de búsqueda arrojaron 524 artículos, se determinó una muestra del 10% del total de artículos presentes en los resultados de búsqueda. Este 10% fue aplicado para cada técnica de IA en cada año de publicación. El desglose de la cantidad de artículos seleccionados por técnica de IA y año de publicación se puede apreciar en la Tabla 3.

Con respecto al país de origen de los autores de los artículos, se aprecia que China provee más investigadores sobre IA en SC, seguido de USA e India, como lo muestra la Tabla 4.

En relación al proceso de SCOR considerado, 39 artículos (71%) abordó procesos relacionados a la

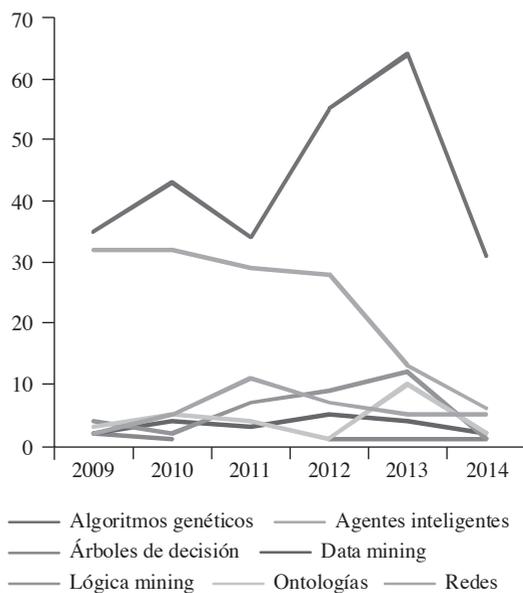


Figura 5. Distribución de artículos publicados por año y técnica de IA.

planificación (sP Plan), y en el otro extremo, solo 1 artículo (2%) abordó un proceso asociado con el pedido, entrega, recepción y/o transferencia de materia prima o servicios necesarios para realizar

Tabla 2. Técnicas de IA utilizadas por año.

Técnica de IA	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Algoritmos genéticos	35	43	34	55	64	31	262
Agentes inteligentes	32	32	29	28	13	6	140
Árboles de decisión	2	1	1	1	1	1	6
Data mining	2	4	3	5	4	2	20
Lógica difusa	4	2	7	9	12	1	36
Ontologías	3	5	4	1	10	2	25
Redes neuronales	2	5	11	7	5	5	35
Total general	80	92	88	106	109	48	524

Tabla 3. Cantidad de artículos seleccionados por año y técnica de IA.

Técnica de IA	Total	10%	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total artículos
Algoritmos genéticos	262	26,2	4	4	3	6	6	3	26
Agentes inteligentes	140	14	3	3	4	3	1	0	14
Árboles de decisión	6	0,6	0	0	0	0	0	1	1
Data mining	20	2	0	0	0	0	1	1	2
Lógica difusa	36	3,6	0	0	2	1	1	0	4
Ontologías	25	2,5	0	1	0	1	1	0	3
Redes neuronales	35	3,5	0	0	0	1	1	2	4
Total general	524	52,4	0	0	0	0	0	0	54

Tabla 4. Cantidad de autores por País.

País	Número de autores	País	Número de autores
China	32	República de Korea	3
Estados Unidos	22	Tailandia	3
India	17	Italia	2
Irán	13	Suiza	2
Malasia	13	Canadá	1
Taiwán	10	Chile	1
Hong Kong	7	Dinamarca	1
Argentina	4	Alemania	1
Países Bajos	4	Irlanda	1
Turquía	4	Japón	1
Reino Unido	4	Holanda	1
Australia	3	Polonia	1
Francia	3	Singapur	1

procesos de producción (sS Source), como lo muestra la Figura 6.

En la Figura 7, se observa en detalle los procesos de planificación abordados por los 39 artículos, según el nivel 2 de procesos de planificación señalados en SCOR. Se aprecia que 12 artículos consideraron procesos relacionados con la planificación de la cadena de suministros (sP1 Plan Supply Chain), seguido por 11 artículos que abordaron procesos relacionados con la planificación en la obtención los recursos y/o servicios necesarios para los procesos de producción (sP2 Plan Source) y 9 artículos que abordaron procesos relacionados con la planificación de la entrega de productos y/o servicios (sP4

Plan Deliver). Más atrás quedaron procesos de planificación relacionados a la fabricación (sP3 Plan Make) y la devolución de productos (sP5 Plan Return).

Otra información a extraer de los artículos seleccionados fue la técnica de IA utilizada y el proceso SCOR abordado. En la Tabla 5, se observa la frecuencia en que una técnica de IA fue utilizada en un proceso SCOR de nivel 1.

De la Tabla 5 se aprecia que las técnicas de IA mas utilizadas, algoritmos genéticos y agentes inteligentes, fueron utilizados más frecuentemente en procesos relacionados con la planificación (sP

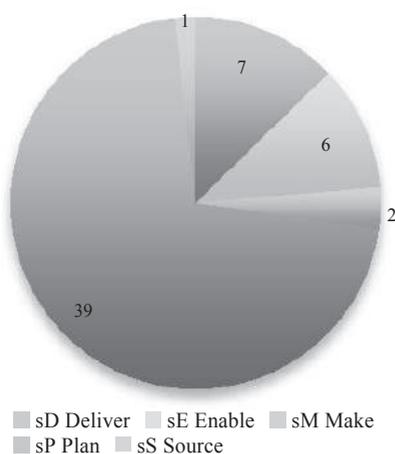


Figura 6. Distribución de artículos según proceso SCOR de nivel 1 abordado.

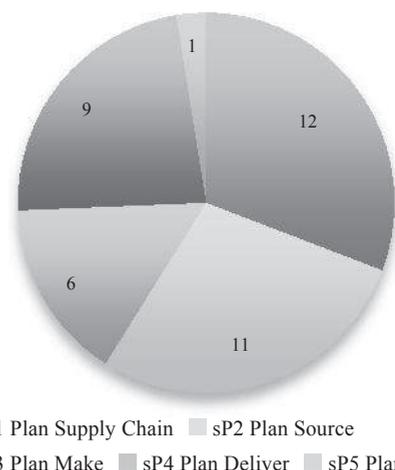


Figura 7. Distribución de los artículos que abordaron procesos de planificación.

Tabla 5. Técnicas de IA aplicada en proceso SCOR de nivel 1.

Técnica de IA	sD Deliver	sE Enable	sM Make	sP Plan	sS Source	Total
Algoritmos genéticos	4	0	4	18	0	26
Agentes inteligentes	1	2	0	10	1	14
Árboles de decisión	0	0	0	1	0	1
Data mining	0	0	0	2	0	2
Lógica difusa	0	0	0	3	0	4
Ontologías	0	2	0	1	0	3
Redes neuronales	0	1	0	3	0	4

Plan) siendo un poco más del 50% de los artículos publicados.

A partir de la información anterior fue interesante detallar en que procesos de planificación los 28 artículos que utilizaron algoritmos genéticos o agentes inteligentes fueron utilizados. Para ello se consideró el nivel 2 de los procesos SCOR. Se observa que 10 de esos artículos abordaban procesos de planificación de la cadena de suministros (sP1 Plan Supply Chain) y 7 artículos abordaron procesos para la planificación de la entrega de productos (sP1 Plan Deliver) como lo muestra la Tabla 6.

Con respecto a la implementación y resultados obtenidos, así como también el trabajo futuro extraído desde los artículos seleccionados, estos se presentan en la siguiente sección.

DISCUSIÓN

Esta sección muestra un resumen de los 54 artículos seleccionados considerando aspectos relacionados al proceso SCOR abordado, implementación y resultados y, trabajo futuro. El resumen se presenta por técnica de IA.

Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos (AG's) fueron introducidos por Holland en 1975 y han recibido una importante atención debido a su potencial para resolver

problemas de optimización ya que no necesitan muchos requerimientos matemáticos y pueden manejar cualquier tipo de funciones objetivos y restricciones [6]. Esta técnica de IA fue la mas utilizada según los resultados de los 524 artículos presentes en los resultados de búsqueda. De los artículos seleccionados, 26 (48%) de ellos utilizaron algoritmos genéticos.

Procesos SCOR y Algoritmos genéticos

De los artículos que utilizaron AG's, 18 (64,5%) de ellos abordaron procesos de planificación (sP Plan), 6 (26,9%) artículos consideraron procesos de entrega (sD Deliver) y 2 (7,7%) artículos abordaron procesos de fabricación (sM Make).

Dentro de los procesos de planificación, los artículos revisados abarcaron casi todas las categorías de planificación de nivel 2 propuestas en SCOR a excepción de sP6 Plan Enable la que no posee artículos relacionados. En [7-9] los AG's apoyaron los procesos de planificación de cadenas de suministros (sP1 Plan Supply Chain), ya que buscaron la optimización de estas, considerando proveedores, fabricantes, bodegas, centros de distribución, ubicación de los clientes; entre otras condiciones, de manera de satisfacer las demandas de productos a un bajo costo. En [10] se consideró además la existencia de productos defectuosos, lo que implica considerar otras condiciones relativas a mercados y clientes.

Tabla 6. Algoritmos Genético y Agentes Inteligentes con y procesos de planificación de nivel 2 según SCOR.

Técnica de IA	sP1 Plan Supply Chain	sP2 Plan Source	sP3 Plan Make	sP4 Plan Deliver	sP5 Plan Return	sP6 Plan Enable
Algoritmos genéticos	4	4	3	6	1	0
Agentes inteligentes	6	1	2	1	0	0

En [6] y [10] los AG's apoyaron los procesos de planificación de materias primas (sP2 Plan Source) abordando el problema de la selección de proveedores, teniendo como objetivos disminuir los costos, los rechazos de materiales solicitados y los tiempos de entrega y, por otra parte, maximizar la calidad de los productos considerando el trato con el medio ambiente durante su fabricación. En [11] se abordó la selección de proveedores considerando el transporte de los materiales hasta la fábrica. En [12] un AG abordó el problema de determinar las cantidades de materiales a comprar para una familia de productos.

En [13] un AG apoyó las decisiones para la selección óptima de los lugares para fábricas, centros de distribución y desmanteladores con las unidades de operación respectivas considerando un mínimo coste. En [14], AG's fueron utilizados para planificar la producción considerando diferentes restricciones, tales como ubicación de insumos, "cuellos de botellas" en el proceso de producción, productos con diferentes características, entre otras. En [15] se abordó un problema de planificación de la producción en un entorno complejo el que consistía en múltiples plantas, múltiples departamentos de producción y múltiples procesos de producción. Todas estas aplicaciones de AG's fueron relacionados con la planificación de la fabricación (sP3 Plan Make).

Con respecto a procesos de planificación de la entrega de productos (sP4 Plan Deliver), varios artículos utilizaron AG's para localizar centros de distribución de manera de minimizar los costos de inventarios, seguridad de los productos y el reordenamiento de pedidos [16-18]. En [19] se utilizaron para el despacho de camiones optimizando el costo de transporte, tiempos de entregas y tamaño de las cargas. Un caso especial se aborda en [20] y en [21] en donde se modela un problema de planificación en un operador "cross-dock" en el cual camiones arriban a un centro de distribución con productos desde las fábricas y estos son cargados a camiones de menor tamaño para su distribución final. Debido a la incertidumbre de las llegadas de camiones, la coordinación está sujeta a las variaciones en los costos del servicio de los camiones menores.

En los artículos revisados, solo en [22] se observa una aplicación de AG's en la planificación del retorno de productos. En ese trabajo se abordó el

problema de la devolución de productos por parte de los clientes considerando decisiones con respecto a la adquisición de material, producción y distribución necesario para su reciclaje y/o eliminación.

Otros artículos (4) utilizaron AG's para apoyar los procesos de entrega de productos (sD Deliver). Los artículos que clasificaron en esta categoría abordaron el proceso del enrutamiento de camiones (sD1.6 Route Shipments en SCOR nivel 3). En [25] utilizaron AG's para optimizar el transporte de carga fija buscando el costo total mínimo. En [26] abordaron un problema similar al anterior considerando el tiempo de tránsito de rutas para vehículos con recogidas y entregas simultáneas. En [27] el objetivo fue resolver la planificación del transporte y la distribución de la caña de azúcar desde los campos de plantación a las estaciones de carga, y desde las estaciones de carga a la fábrica. Las decisiones consistieron en determinar las ubicaciones de las estaciones de carga y el número de camiones de carga en cada estación para garantizar una alimentación continua y uniforme de la caña de azúcar a la fábrica. En [28] se consideró optimizar la distribución de productos con condiciones asociadas a un cargo fijo de transporte entre un origen y un destino y un cargo variable que aumenta linealmente con la cantidad transportada.

Por último, 4 artículos utilizaron AG's para apoyar procesos relacionados con la fabricación (sM Make). En [29] se aborda un proceso con un proveedor de productos y un número de minoristas en donde se debe seleccionar de manera óptima a los minoristas y determinar el tiempo de ciclo de reposición del producto y el precio al por mayor, con el fin de maximizar su beneficio. En [30] se abordó un problema en el retraso del cumplimiento de órdenes considerando varios proveedores, una bodega, varios minoristas y capacidad de transporte. Los AG's fueron utilizados para proponer la cantidad óptima de relleno de manera que minimizarán el costo de todo el sistema mediante el aprovechamiento de los descuentos por cantidad en las estructuras de costos de transporte. En [23] se aborda el problema de programación de tareas que pueden ser realizadas por una máquina para la fabricación de productos y en el que se debe determinar la secuencia de las tareas y también la formación de lotes de producción. En [24] se proponen AG's para reducir al mínimo los costos de producción, distribución, explotación y

pedido para los productos de menor calidad en un proceso de fabricación. En el modelo propuesto se asumió que estos productos no son reparables y se venden directamente a los clientes a un precio menor.

Implementación y resultados de AG's

Con respecto a la implementación de AG's, la revisión de los artículos reveló tres usos diferentes: implementación de modelos matemáticos, combinación con otras técnicas y comparación con otras alternativas de solución.

La mayoría de los artículos implementan los AG's para buscar soluciones a modelos matemáticos que representan procesos en una SC. Se diferencian en cómo definen los cromosomas y cómo utilizan los operadores genéticos. Por ejemplo en [21] se proponen AG's con tres diferentes representaciones de cromosomas para aumentar la eficiencia de la solución. En general estos artículos muestran buenos y eficientes resultados.

En otros artículos combinan los AG's con otras técnicas. Por ejemplo, en [13] el AG se basó en "spanning-tree" para la representación de una red de transporte. En [29] se desarrolló un algoritmo híbrido que combina AG, programación dinámica y métodos analíticos. El algoritmo híbrido tarda considerablemente menos tiempo en encontrar una solución que un algoritmo AG puro. En [12] un modelo basado en simulación aleatoria y redes neuronales es utilizado para aproximar la incertidumbre del problema a tratar. Como resultado, los métodos obtienen soluciones basadas en probabilidades. En [11] el AG propuesto integra una base de conocimientos para la generación de la población inicial, la selección de los individuos para la reproducción y la reproducción de nuevos individuos. La metodología desarrollada ayuda a mejorar el rendimiento del AG mediante la obtención de resultados en un menor número de generaciones.

En otros artículos los AG's fueron implementados para comparar los resultados con otras técnicas. En [16] AG's fueron comparados con un algoritmo heurístico Lagrangiano. Los AG's obtuvieron mejores resultados aunque para grandes problemas, el requisito computacional de los AG's es mayor que el algoritmo heurístico Lagrangiano. En [14] y [18], AG's fueron comparados con algoritmos basados en optimización por enjambre de partículas

(PSO). Los resultados de estos trabajos señalaron que las propuestas basadas en PSO resultaron más eficientes que el AG tanto en la solución encontrada como también en los requerimientos de CPU. En [7] se propuso un algoritmo fusionando características de la técnica Taguchi y de los sistemas inmuno-artificiales. Esta propuesta fue comparada con un AG tradicional y los resultados obtenidos indicaron que la propuesta obtiene mejores resultados. En [26] AG's fueron comparados con un algoritmo basado en "scatter search" (SS). Los resultados computacionales sugieren que el enfoque SS es más eficaz y superior al enfoque de AG en la obtención de soluciones de alta calidad. Aunque el enfoque AG se ejecuta más rápido que el enfoque SS cuando el problema es pequeño, el enfoque de SS se ejecuta más rápido que el enfoque AG cuando el problema es grande. En [23] tres algoritmos fueron comparados: un algoritmo genético, un algoritmo SA (*simulated annealing*) y un algoritmo PSO. Además, un enfoque de aprendizaje adaptativo que se inspira en los pesos de formación en una red neuronal, se agregó en los algoritmos con el fin de mejorar la calidad de las soluciones. Los resultados mostraron soluciones óptimas de forma más rápida que las versiones sin red neuronal.

Trabajo futuro en AG

En varios artículos revisados el trabajo futuro con AG's está relacionado con agregar más condiciones del dominio del problema [7, 11, 16-17, 22, 25, 27-28, 30].

Por otra parte, otros artículos señalan que en su trabajo futuro consideraran la incertidumbre implícita del problema de una manera más analítica y de esta manera facilitar las aplicaciones prácticas [6, 8, 10, 12-13, 15, 20].

Por último, algunos artículos proponen para su trabajo futuro combinar los AG's con otros enfoques. Por ejemplo en [9] se propone combinar AG's con algoritmos basados en *Simulated Annealing* y en [18] se propone combinar AG's con técnicas de lógica difusa.

Agentes inteligentes

Un agente inteligente es una entidad autónoma que observa por medio de sensores y actúa sobre un entorno de actuadores con el objeto de cumplir sus metas. Para lo anterior, el agente puede ser dotado

de mecanismos de aprendizaje y conocimiento sobre el entorno el cual actúa. Esta técnica de IA fue la segunda más utilizada según los resultados de los 524 artículos presentes en los resultados de búsqueda. De los artículos seleccionados, 14 de ellos utilizaron agentes inteligentes.

Procesos SCOR y agentes inteligentes

La mayoría de los artículos (10) abordaron procesos relacionados con la planificación (sP Plan). Los artículos revisados abarcaron casi todas las categorías de planificación propuestas en SCORM nivel 1, a excepción de sP5 Plan Return y sP6 Plan Enable, los que no poseen artículos relacionados. En [31] se muestra como un agente utiliza las condiciones del mercado para caracterizar la situación microeconómica y predecir tendencias del mercado. El agente utiliza esta información para la toma de decisiones tácticas, como la fijación de precios y decisiones estratégicas, como la mezcla de productos y planificación de la producción. En [32] se investiga la complejidad de la formación de una cadena de suministro y propone un enfoque de coordinación mediada por agente. En [33] los agentes fueron aplicados para organizar una cadena de suministro compuesta de varios proveedores. En [34] se introduce un modelo basado en agentes para representar con más detalles la situación económica de las empresas que son parte de una SC. De esta manera se simulan quiebras de empresas, dando lugar a estructuras de SC autoemergentes. En [35] se presenta un modelo de agentes en el que pueden realizar acciones de control correctivas para reducir al mínimo el efecto de las desviaciones en el plan que se está ejecutando. En [36] el enfoque propuesto se basa en un sistema multi-agente que busca un beneficio óptimo y modelos de colaboración entre entidades de la industria de servicios móviles como proveedores de servicios de acceso a portal, proveedores de servicios de producto y el proveedor de servicios móviles. En [37] los agentes fueron utilizados para mejorar el rendimiento en la planificación de la producción en una SC mediante la flexibilidad y adaptabilidad en cantidad y fecha de entrega de insumos considerando el efecto de la incertidumbre en la demanda de los clientes y la capacidad de proveedores. En [38] los agentes se usaron para llenar la brecha entre la planificación de producción y la producción real redistribuyendo las tareas de los sistemas de fabricación. En [39] los agentes fueron utilizados para modelar y simular

una compleja SC teniendo como objetivo minimizar los tiempos de espera y maximizar los ingresos. En [40] y [41] se describen plataformas basadas en agentes para la asignación de cargas en la red de transporte considerando condiciones ambientales que afectan el tiempo de viaje.

Por otra parte, algunos artículos (4) utilizaron agentes inteligentes en procesos no relacionados con la planificación. Por ejemplo en [42] se adopta un enfoque basado en agentes para un sistema de rastreo de órdenes en una SC con un alto nivel de automatización. Los agentes cooperan entre sí para rastrear órdenes por medio de la autoorganización. En [43] se desarrolla un sistema multiagente que apoye las decisiones relacionadas con interrupciones de gestión y mitigación de riesgos en una SC. La adaptabilidad en tiempo real y la capacidad de aprendizaje mediante algoritmos que se encuentran implícitos en el modelo puede dar lugar a una respuesta más eficaz a las asimetrías de información entre los socios de la cadena de suministro. En [44] los agentes fueron utilizados para el control dinámico de inventario en una SC.

Implementación y resultados de agentes inteligentes

Con respecto a la implementación de agentes, la revisión de los artículos reveló dos usos diferentes: simulación de procesos de SC y combinación con otras técnicas.

La mayoría de los artículos implementan agentes para simular procesos en una SC presentando buenos y eficientes resultados. Por ejemplo en [32] y [34] los agentes se comunican y negocian para la formación de SC; prototipos fueron implementados con experimentos simulados que destacan la eficacia del enfoque. En [35] los agentes permitieron obtener una SC ágil y con capacidad para responder a diferentes tipos de eventos. En [37] la flexibilidad y capacidad de adaptación de una SC se realizó sobre la propuesta de dos mecanismos de coordinación entre agentes. Los resultados indicaron que la introducción de dichos mecanismos pueden mejorar la coordinación entre agentes.

En otros artículos combinan los agentes con otras técnicas. En [33] se consideró un problema en el que los agentes pueden tener distintas opciones durante la negociación. Para que el agente tome la mejor opción se utilizó un método heurístico

basado en PSO y la distribución de Cauchy. Ese enfoque optimizó las necesidades de recursos del sistema. En [36] se propuso un sistema con agentes que integran un algoritmo evolutivo. Los resultados obtenidos permitieron a los tomadores de decisiones elegir la mejor opción. En [39] los agentes tienen la oportunidad de afinar dinámicamente sus parámetros de decisión integrando un análisis jerárquico. Los resultados mostraron un mejor rendimiento de la cadena de suministro. En [44] se propone un algoritmo de aprendizaje basado por refuerzo en casos (CRL) para los agentes. Los buenos resultados obtenidos mostraron la eficacia de CRL.

Trabajo futuro en agentes inteligentes

En algunos artículos revisados, el trabajo futuro con agentes está relacionado con agregar más condiciones del dominio del problema [34, 40] o con probar su propuesta en dominios similares. Por ejemplo en [31] se fijó como trabajo futuro aplicar el método propuesto en otros ámbitos, como Amazon.com, eBay.com. En [44] las futuras investigaciones pueden seguir dos direcciones: extender su propuesta en una SC con más niveles de manera que el “efecto látigo” (desajustes que pueden darse entre los actores intermedios que participan en la SC) se puede observar y la otra dirección es aplicar su propuesta a otras situaciones en la SC.

En otros artículos el trabajo futuro con agentes está relacionado con integrar otras técnicas. En [33] proponen integrar otros métodos heurísticos como algoritmos genéticos y/o optimizaciones basadas en colonia de hormigas. En [35] el trabajo futuro contempla el desarrollo de nuevos algoritmos para mejorar el modelo de negociación, específicamente para mejorar la generación del espacio de solución y la capacidad de seleccionar las mejores soluciones.

Lógica difusa

La lógica difusa es un enfoque basado en “grados de pertenencia” en lugar del verdadero o falso (1 o 0) de la lógica booleana. La idea de la lógica difusa fue introducida por el Dr. Lotfi Zadeh, de la Universidad de California en Berkeley en la década de 1960. Con base en lo anterior, la lógica difusa se adapta mejor a los términos que se utilizan en mundo real. Esta técnica de IA fue la tercera más utilizada según los resultados de los 524 artículos presentes en los resultados de búsqueda. De los artículos seleccionados, 4 de ellos utilizaron lógica

difusa, muy por detrás de algoritmos genéticos y agentes inteligentes.

Procesos SCOR y lógica difusa

En [45], mediante una revisión de artículos publicados entre 1998 y 2009 relacionados con la aplicación de lógica difusa en la gestión de la producción y operaciones, determinó que las principales aplicaciones fueron la planificación de la capacidad, programación, control de inventarios, y el diseño del producto. En [46] y [47] se desarrolló un modelo para la selección de proveedores apoyando de esta manera a los procesos de planificación en la compra de insumos. En [48] se apoyó la toma de decisión asociadas a procesos relacionados con la entrega de productos tomando en cuenta la incertidumbre en el pronóstico de la demanda, la escasez de materia prima y en el tiempo de llegada de los productos a un centro de distribución.

Implementación y resultados de lógica difusa

En [47] los resultados mostraron la importancia de los pesos de los criterios y subcriterios ya que los tomadores de decisiones normalmente expresan sus evaluaciones en lenguaje natural en lugar de números. En [48] el modelo propuesto mostró como la lógica difusa puede ser efectivamente utilizada integrando la incertidumbre inherente a los procesos y de esta manera apoyar la toma de decisiones. Por su parte [45] determinó que las tecnologías más comunes integradas a la lógica difusa son los algoritmos genéticos y redes neuronales.

Trabajo futuro en lógica difusa

En [46] se propone extender el método presentado integrando preferencias lingüísticas para estimar valores. En [47] se propone profundizar el modelo propuesto agregando nuevas condiciones que permitan al modelo acercarse a un proceso más realista. En [48] se propone ampliar y mejorar el modelo propuesto integrando la incertidumbre inherente en otros procesos relacionados al dominio de estudio.

Redes neuronales

Las redes neuronales son una familia de modelos de aprendizaje estadísticos inspirados en las redes neuronales biológicas que se utilizan para estimar o aproximar funciones que pueden depender de un gran número de entradas. Esta técnica de IA fue la cuarta más utilizada según los resultados de los 524

artículos presentes en los resultados de búsqueda. De los artículos seleccionados, 4 de ellos utilizaron redes neuronales.

Procesos SCOR y redes neuronales

La mayoría de los artículos (3) que utilizaron redes neuronales lo hicieron en procesos relacionados con la planificación. Por ejemplo en [49] una red neuronal fue utilizada para la selección y evaluación del desempeño de proveedores. En [50] una red neuronal fue utilizada para la planificación de la reposición de materiales y en [51] se propuso una red neuronal Wavelet para la previsión de la demanda.

Por otra parte, en [52] se utilizó una red neuronal con el objeto de predecir el precio de reserva del vendedor, precio objetivo y la oferta inicial. De esta manera se apoyaría a los procesos de negociación de precios entre vendedores y compradores.

Implementación y resultados de redes neuronales

En [49] los resultados muestran que las redes neuronales apoyaron eficazmente la evaluación de desempeño para selección de proveedores. En [51] se muestra que la red neuronal Wavelet obtiene mejores resultados que una red neuronal sin funciones Wavelet. En [50] la red neuronal fue integrada con un algoritmo de optimización basado en colonias de hormigas, mostrando mejores resultados que una red neuronal convencional. En [52] los resultados de la red neuronal fueron comparados con un análisis de regresión, mostrando que la red neuronal tiene un error estándar inferior.

Trabajo Futuro en redes neuronales.

En [49] proponen probar su modelo basado en otras áreas de aplicación. En [50] también se desea probar el modelo en otros escenarios, pero además proponen integrar otros algoritmos heurísticos. En [51] sugieren probar el modelo integrando redes neuronales Wavelet y lógica difusa.

Ontologías

Ontología en ciencias de la computación hace referencia a la formulación de un exhaustivo y riguroso esquema conceptual dentro de uno o varios dominios dados con la finalidad de facilitar la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas y entidades. Está técnica de IA fue la quinta más utilizada según los resultados de los 524 artículos presentes en los resultados de

búsqueda. De los artículos seleccionados, 3 de ellos utilizaron ontologías.

Procesos SCOR y ontologías

Los artículos que utilizaron ontologías lo hicieron principalmente para el intercambio de información entre organizaciones (SE Enable). Por ejemplo en [53] se propuso una solución para el intercambio de conocimientos entre empresas mediante la web semántica. En [54] se utilizó una ontología formal para representar servicios de fabricación y una metodología de emparejamiento para conectar compradores y vendedores. El objetivo final fue permitir el despliegue autónomo de cadenas de suministro con base en los requisitos tecnológicos específicos definidos por determinadas órdenes de trabajo y en [55] se propuso un enfoque basado en ontologías para organizar mejor los conocimientos de negociación y facilitar la capacidad de toma de decisiones.

Implementación y resultados de ontologías

En [53] la propuesta consistió en un modelo de conocimiento semiestructurado con un formato significativo y un mecanismo de articulación para mejorar la eficacia de la interoperabilidad entre dos ontologías heterogéneas. La plataforma permitió a las entidades de la cadena de suministro representar, generar, buscar y compartir conocimientos de manera efectiva.

En [54] los modelos de conocimiento y los algoritmos de procesamiento de información que se propusieron mejoraron significativamente las capacidades de automatización de las plataformas de aprovisionamiento basadas en la web. Con un sistema de configuración de la cadena de suministro basada en el conocimiento, no solo se reducirá la duración en la formación de la cadena de suministro, sino que también la conveniencia de la cadena de suministro resultante se incrementó drásticamente.

En [55] los resultados de utilizar ontologías para las negociaciones verifican la funcionalidad de adaptación de todo el sistema y proporcionan soluciones en la cadena de suministro.

Trabajo futuro en ontologías

En [54] el desarrollo de métodos de aprendizaje ontológicos para la expansión automática de conocimiento define otra área para el trabajo futuro.

En [55] se propone utilizar otras estrategias y tácticas de negociación para enriquecer los conocimientos de negociación de los agentes.

Minería de datos y árboles de decisión

La minería de datos es el proceso de descubrir patrones en grandes conjuntos de datos. Para lo anterior utiliza métodos de la inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística y sistemas de bases de datos. Estas técnicas de IA fueron las menos más utilizada según los resultados de los 524 artículos presentes en los resultados de búsqueda. De los artículos seleccionados, 3 de ellos utilizaron minería de datos.

Procesos SCOR y minería de datos

Dos artículos que utilizaron minería de datos abordaron procesos relacionados con la planificación. Por ejemplo, en [56] se muestra a un modelo que intenta predecir la demanda de los clientes con lo que apoya los procesos de planificación de compra de materiales, planificación de la fabricación, entre otros. En [57] se abordó el problema de asignación de recursos para mejorar los procesos de planificación de la producción.

Por otra parte, el trabajo realizado por [58] consideró minería de datos para un proceso de habilitación de información (sE Enable). En ese trabajo se desarrollaron indicadores claves integrados, lo que permitió a una organización poseer información integrada sobre su rendimiento en vez de indicadores claves independientes.

Implementación y minería de datos

En los aspectos relacionados a la implementación se aprecia que se utilizan diferentes técnicas. Por una parte, dos artículos utilizaron el algoritmo Apriori, reglas de asociación y análisis de clúster [57-58] para formar sus modelos. Solo en [56] se utilizaron lógica difusa y redes neuronales.

Trabajo futuro en minería de datos

Con respecto al trabajo futuro, los tres artículos revisados señalan aplicaciones de los modelos propuestos en otros dominios.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada ha resumido la información extraída de 524 artículos publicados

durante 2009 al 2014 sobre técnicas de inteligencia artificial aplicadas en procesos de cadenas de suministros. Incluyó además una revisión en detalle de 54 artículos. Las principales conclusiones son:

- (1) Existe una tendencia al alza en la publicación de artículos que muestran el uso de técnicas de IA en procesos de la cadena de suministros.
- (2) Las principales técnicas de IA utilizadas en procesos de la cadena de suministro son algoritmos genéticos y agentes inteligentes, aplicándolas principalmente en procesos relacionados a la planificación y, en menor medida, a procesos de entrega de productos.
- (3) El uso del Modelo SCOR, permite categorizar eficientemente los procesos de una cadena de suministros, permitiendo aclarar en qué procesos las técnicas de IA fueron utilizadas.
- (4) El mayor número de artículos son publicados en Expert Systems with Applications e International Journal Of Advanced Manufacturing Technology.

Con respecto al trabajo futuro se destacan dos tendencias: la combinación de técnicas de IA para abordar procesos y considerar la incertidumbre en los modelos de manera que las propuestas sean más realistas. En específico, se proponen las siguientes actividades:

- a) Incorporar la incertidumbre a los modelos que involucren técnicas de IA.
- b) Combinar técnicas de aprendizaje y representación de conocimiento para el proceso de negociación en agentes inteligentes.
- c) Realizar un estudio que proponga qué técnicas de IA se podrían utilizar en procesos de la cadena de suministros, según el modelo SCOR.

REFERENCIAS

- [1] S. Chopra and P. Meindl. "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation". Pearson Education, Asia. 2001.
- [2] S. Chopra and P. Meindl. "Supply Chain Management". 3° Edition. Pearson/Prentice Hall. 2006.
- [3] B. Kitchenham. "Procedures for performing systematic reviews". Ke ele University TR/SE-0401. 2004.
- [4] S.A. Oke. "A literature review on artificial intelligence". International journal of

- information and management sciences. Vol. 19 N° 4, pp. 535-570. 2008.
- [5] Council SC. "Supply chain operations reference model". 2008.
- [6] J. Xu y C. Ding. "A class of chance constrained multiobjective linear programming with birandom coefficients and its application to vendors selection". *International Journal of Production Economics*. Vol. 131 N° 2, pp. 709-720. 2011.
- [7] M.K. Tiwari, N. Raghavendra, S. Agrawal, and S.K. Goyal. "A Hybrid Taguchi-Immune approach to optimize an integrated supply chain design problem with multiple shipping. European". *Journal of Operational Research*. Vol. 203 N° 1, pp. 95-106. 2010.
- [8] M.S. Pishvae, R.Z. Farahani and W. Dullaert. "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design". *Computers & operations research*. Vol. 37 N° 6, pp. 1100-1112. 2010.
- [9] S.H.R. Pasandideh, S.T.A. Niaki and A.R. Nia. "A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model". *Expert Systems with Applications*. Vol. 38 N° 3, pp. 2708-2716. 2011.
- [10] W.C. Yeh and M.C. Chuang. "Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems". *Expert Systems with Applications*. Vol. 38 N° 4, pp. 4244-4253. 2011.
- [11] A. Prakash, F.T. Chan, H. Liao and S.G. Deshmukh. "Network optimization in supply chain: A KBGA approach". *Decision Support Systems*. Vol. 52 N° 2, pp. 528-538. 2012.
- [12] T. Shu, S. Chen, S. Wang and K.K. Lai. "GBOM-oriented management of production disruption risk and optimization of supply chain construction". *Expert Systems with Applications*. Vol. 41 N° 1, pp. 59-68. 2014.
- [13] H.F. Wang and H.W. Hsu. "A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm". *Computers & operations research*. Vol. 37 N° 2, pp. 376-389. 2010.
- [14] Y.Y. Chen and J. Lin. "A modified particle swarm optimization for production planning problems in the TFT Array process". *Expert Systems with Applications*. Vol. 36 N° 10, pp. 12264-12271. 2009.
- [15] Z.X. Guo, W.K. Wong, Z. Li and P. Ren. "Modeling and Pareto optimization of multi-objective order scheduling problems in production planning". *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 64 N° 4, pp. 972-986. 2013.
- [16] K. Sourirajan, L. Ozsen y R. Uzsoy. "A genetic algorithm for a single product network design model with lead time and safety stock considerations". *European Journal of Operational Research*. Vol. 197 N° 2, pp. 599-608. 2009.
- [17] V.R. Ghezavati, M.S. Jabal-Ameli y A. Makui. "A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius. *Expert Systems with Applications*". Vol. 36 N° 3, pp. 5620-5629. 2009.
- [18] A.A. Taleizadeh, S.T.A. Niaki y A. Makui. "Multiproduct multiple-buyer single-vendor supply chain problem with stochastic demand, variable lead-time, and multi-chance constraint". *Expert Systems with Applications*. Vol. 39 N° 5, pp. 5338-5348. 2012.
- [19] H.R. Cheshmehgaz, M.I. Desa y A. Wibowo. "A flexible three-level logistic network design considering cost and time criteria with a multi-objective evolutionary algorithm". *Journal of Intelligent Manufacturing*. Vol. 24 N° 2, pp. 277-293. 2013.
- [20] D. Konur y M. Golias. "Cost-stable truck scheduling at a cross-dock facility with unknown truck arrivals: A meta-heuristic approach". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Vol. 49 N° 1, pp. 71-91. 2013.
- [21] K. Lee, B.S. Kim, C.M. Joo. "Genetic algorithms for door-assigning and sequencing of trucks at distribution centers for the improvement of operational performance". *Expert Systems with Applications*. Vol. 39 N° 17, pp. 12975-12983. 2012.
- [22] G. Kannan, P. Sasikumar and K. Devika. "A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling". *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 34 N° 3, pp. 655-670. 2010.
- [23] A. Noroozi, H. Mokhtari and I.N.K. Abadi. "Research on computational intelligence algorithms with adaptive learning approach for scheduling problems with batch processing

- machines”. *Neurocomputing*. Vol. 101, pp. 190-203. 2013.
- [24] S.A. Ghasimi, R. Ramli and N. Saibani. “A genetic algorithm for optimizing defective goods supply chain costs using JIT logistics and each-cycle lengths”. *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 38 N° 4, pp. 1534-1547. 2014.
- [25] F. Xie R. Jia. “Nonlinear fixed charge transportation problem by minimum cost flow-based genetic algorithm”. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 63 N° 4, pp. 763-778. 2012.
- [26] T. Zhang, W.A. Chaovalitwongse and Y. Zhang. “Scatter search for the stochastic travel-time vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries”. *Computers & Operations Research*. Vol. 39 N° 10, pp. 2277-2290. 2012.
- [27] W. Neungmatcha, K. Sethanan, M. Gen y S. Theerakulpisut. “Adaptive genetic algorithm for solving sugarcane loading stations with multi-facility services problema”. *Computers and electronics in agriculture*. Vol. 98, pp. 85-99. 2013.
- [28] N. Jawahar, A.N. Balaji. “A genetic algorithm for the two-stage supply chain distribution problem associated with a fixed charge”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 194 N° 2, pp. 496-537. 2009.
- [29] Y. Yu, Z. Hong, L.L. Zhang, L. Liang y C. Chu. “Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 225 N° 2, pp. 273-284. 2013.
- [30] W. Yang, F.T.S. CHAN y V. Kumar. “Optimizing replenishment polices using genetic algorithm for single-warehouse multi-retailer system”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 39 N° 3, pp. 3081-3086. 2012.
- [31] W. Ketter, J. Collins, M. Gini, A. Gupta & P. Schrater. “Detecting and forecasting economic regimes in multi-agent automated exchanges”. *Decision Support Systems*. Vol. 47 N° 4, pp. 307-318. 2009.
- [32] M. Wang, H. Wang, D. Vogel, K. Kumar y D.K. Chiu. “Agent-based negotiation and decision making for dynamic supply chain formation”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 22 N° 7, pp. 1046-1055. 2009.
- [33] A.K. Sinha, H.K. Aditya, M.K. Tiwari y F.T. Chan. “Agent oriented petroleum supply chain coordination: Co-evolutionary Particle Swarm Optimization based approach”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 38 N° 5, pp. 6132-6145. 2011.
- [34] K.J. Mizgier, S.M. Wagner J. Holyst. A. “Modeling defaults of companies in multi-stage supply chain networks”. *International Journal of Production Economics* . Vol. 135 N° 1, pp. 14-23. 2012.
- [35] L. Bearzotti, E. Salomone, O.J. Chiotti. “An autonomous multi-agent approach to supply chain event management”. *International Journal of Production Economics*. Vol. 135 N° 1, pp. 468-478. 2012.
- [36] G. Jiang, B. Hu; Y. Wang. “Agent-based simulation of competitive and collaborative mechanisms for mobile service chains”. *Information Sciences*. Vol. 180 N° 2, pp. 225-240. 2010.
- [37] H.K. Chan, F.T.S. Chan. “Comparative study of adaptability and flexibility in distributed manufacturing supply chains”. *Decision Support Systems*. Vol. 48 N° 2, pp. 331-341. 2010.
- [38] M. Rolón, E. Martínez. “Agent-based modeling and simulation of an autonomic manufacturing execution system”. *Computers in industry*. Vol. 63 N° 1, pp. 53-78. 2012.
- [39] A. Brintrup. “Behaviour adaptation in the multi-agent, multi-objective and multi-role supply chain”. *Computers in Industry*. Vol. 61 N° 7, pp. 636-645. 2010.
- [40] V. Robu, H. Noot, H. La Poutré y W.J. Van Schijndel. “A multi-agent platform for auction-based allocation of loads in transportation logistics”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 38 N° 4, pp. 3483-3491. 2011.
- [41] M. Zolfpour-Arokhlo, A. Selamat; S.Z.M. Hashim. “Route planning model of multi-agent system for a supply chain management”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 40 N° 5, pp. 1505-1518. 2013.
- [42] M. Cimino y F. Marcelloni. “Autonomic tracing of production processes with mobile and agent-based computing”. *Information Sciences*. Vol. 181 N° 5, pp. 935-953. 2011.

- [43] M. Giannakis, M. Louis. "A multi-agent based framework for supply chain risk management". *Journal of Purchasing and Supply Management*. Vol. 17 N° 1, pp. 23-31. 2011.
- [44] C. Jiang, Z. Sheng. "Case-based reinforcement learning for dynamic inventory control in a multi-agent supply-chain system". *Expert Systems with Applications*. Vol. 36 N° 3, pp. 6520-6526. 2009.
- [45] B.K. Wong, V.S. Lai. "Survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management: 1998-2009". *International Journal of Production Economics*. Vol. 129 N° 1, pp. 157-168. 2011.
- [46] G. Büyüközkan, G. Çifçi. "A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information". *Computers in Industry*. Vol. 62 N° 2, pp. 164-174. 2011.
- [47] A. Amindoust, S. Ahmed, A. Saghafinia, y A. Bahreininejad. "Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system". *Applied Soft Computing*. Vol. 12 N° 6, pp. 1668-1677. 2012.
- [48] D. Nakandala. P., Samaranayake, H.C. Lau. "A fuzzy-based decision support model for monitoring on-time delivery performance: A textile industry case study". *European Journal of Operational Research*. Vol. 225 N° 3, pp. 507-517. 2013.
- [49] A. Aksoy and Y.N. Öztürk. "Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments". *Expert Systems with Applications*. Vol. 38 N° 5, pp. 6351-6359. 2011.
- [50] JT. Wong CT. SU y CH. Wang. "Stochastic dynamic lot-sizing problem using bi-level programming base on artificial intelligence techniques". *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 36 N° 5, pp. 2003-2016. 2012.
- [51] S. Jaipuria y S.S. Mahapatra. "An improved demand forecasting method to reduce bullwhip effect in supply chains". *Expert Systems with Applications*. Vol. 41 N° 5, pp. 2395-2408. 2014.
- [52] D.C. Moosmayer, A.Y.L. Chong, M.J. Liu y B. Schuppar. "A neural network approach to predicting price negotiation outcomes in business-to-business contexts". *Expert Systems with Applications*. Vol. 40 N° 8, pp. 3028-3035. 2013.
- [53] CC. Huang, SH. Lin. "Sharing knowledge in a supply chain using the semantic web". *Expert Systems with Applications*. Vol. 37 N° 4, pp. 3145-3161. 2010.
- [54] F. Ameri, C. McArthur. "A multi-agent system for autonomous supply chain configuration". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 66 N° 5-8, pp. 1097-1112. 2013.
- [55] G. Wang T.N. Wong y X. Wang. "An ontology based approach to organize multi-agent assisted supply chain negotiations". *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 65 N° 1, pp. 2-15. 2013.
- [56] S. Thomassey. "Sales forecasts in clothing industry: the key success factor of the supply chain management". *International Journal of Production Economics*. Vol. 128 N° 2, pp. 470-483. 2010.
- [57] T. Liu, Y. Cheng, Z. NI. "Mining event logs to support workflow resource allocation". *Knowledge-Based Systems*. Vol. 35 pp. 320-331. 2012.
- [58] SH. Liao and PY. Hsiao. "Mining business knowledge for developing integrated key performance indicators on an optical mould firm". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 26 N° 8, pp. 703-719. 2013.