



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

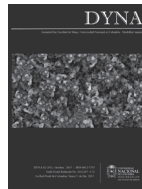
Bautista-Santos, Horacio; Martínez-Flores, José Luis; Fernández-Lambert, Gregorio;
Bernabé-Loranca, María Beatriz; Sánchez-Galván, Fabiola; Sablón-Cossío, Neyfe
Modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas
Dyna, vol. 82, núm. 193, octubre, 2015, pp. 145-154
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49642141019>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Integration model of collaborative supply chain

Horacio Bautista-Santos ^a, José Luis Martínez-Flores ^b, Gregorio Fernández-Lambert ^c,
María Beatriz Bernabé-Loranca ^d, Fabiola Sánchez-Galván ^e & Neyfe Sablón-Cossío ^f

^a Centro de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México. horacio_bautista@hotmail.com

^b Centro de Estudios de Posgrado, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México. joseluis.martinez01@upaep.mx

^c Centro de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico Superior de Mianzhan, Veracruz, México. gfernandezl@itsm.edu.mx

^d Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México. beatriz.bernabe@gmail.com

^e Centro de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México. fsgalvan@hotmail.com

^f Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador. nsablancossio@gmail.com

Received: November 18th, 2014. Received in revised form: July 21th, 2015. Accepted: September 7th, 2015.

Abstract

The strategic members of collaborative supply chain have been looking for actions to synchronize their links. The purpose is to improve the customer service and fulfill the challenges of the globalized competitiveness. This trend is known as integrated supply chain and improves the companies performance as a whole. In this paper, an integration model of collaborative supply chain was developed considering the strategic, tactical and operational perspectives. To implement it, a measurement instrument was designed and validated statistically. Also a mathematical model using fuzzy logic was designed and applied among 36 small, medium and large Mexican companies to determine their integration level and propose specific actions that allow them to improve it.

Keywords: integrated supply chain; levels of integration; integration model.

Modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas

Resumen

Los integrantes estratégicos de las cadenas de suministro colaborativas han buscado realizar acciones conjuntas que les permitan sincronizar los eslabones, para mejorar el servicio al cliente y hacer frente a los retos de competitividad globalizada del entorno actual; esta tendencia se conoce como integración de la cadena de suministro y permite mejorar el desempeño de las empresas en su conjunto. En este trabajo se presenta un modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas considerando las perspectivas estratégica, táctica y operativa. Para su implementación se diseñó un instrumento de medición, el cual fue validado estadísticamente y se formuló un modelo matemático utilizando lógica difusa para su resolución. El modelo se aplicó en 36 empresas mexicanas entre pequeñas, medianas y grandes, determinando su nivel de integración, con base en los resultados se propusieron acciones específicas a implementar para mejorar el nivel alcanzado.

Palabras clave: cadena de suministro integrada; niveles de integración; modelo de integración.

1. Introducción

La cadena de suministro (CS) es una red de proveedores, fábricas, almacenes, centros de distribución y ventas al por menor; a través de los cuales se adquieren y se transforman las materias primas, para entregar al cliente productos o servicios [1].

El objetivo de la integración de la cadena de suministro (ICS) es sincronizar los requerimientos del cliente con los

flujos de materiales de los proveedores, con el fin de efectuar un balance entre el servicio al cliente, la inversión en inventarios y el costo unitario del producto. El diseño y la operación de una CS eficaz, son de importancia fundamental para todas las empresas [2].

En un nivel, la ICS se ocupa de cuestiones estratégicas, tales como la integración de los procesos de negocio internos y externos, el desarrollo de vínculos estrechos entre los socios del canal, y la gestión de los productos y la

información a medida que avanzan a través de fronteras organizativas y empresariales; en otro nivel, la ICS también puede ser una herramienta táctica y operativa aplicada a la gestión de las actividades operacionales en curso. Estas actividades pueden incluir: el servicio al cliente, el control de los flujos de entrada y salida de materiales e información, la eliminación de las ineficiencias de los canales y los costos, que se extienden desde la adquisición de materias primas hasta la fabricación, distribución, consumo y el retorno final a través del canal por medio de reciclaje o eliminación [1].

Las funciones tácticas y operativas de toma de decisiones se integran a través de la CS y se monitorean frecuentemente a través de indicadores de desempeño específico, acordados por los integrantes clave de cada CS, para determinar el correcto funcionamiento de la misma y retroalimentar el proceso con base en los resultados obtenidos.

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un modelo de ICS que contempla la integración a nivel estratégico, táctico y operativo. El artículo está estructurado de la siguiente manera: en primera instancia se presenta la introducción, en la segunda sección se realiza la revisión de literatura para conceptualizar el sustento teórico del presente trabajo. En el tercer apartado se hace referencia a los materiales y métodos, donde se detallan la metodología de la investigación y las herramientas científicas utilizadas. En la sección cuatro se describen los resultados y se realiza la discusión de los mismos. Como último apartado se exponen las conclusiones del estudio; se incluyen también las referencias bibliográficas consultadas.

2. Revisión de literatura

Se requieren cuatro premisas principales para la ICS: compartir información, colaborar para un pronóstico común, realizar una planeación común y automatizar las transacciones financieras. Asimismo, se necesitan herramientas categorizadas en las siguientes cinco clases: en el manejo de información acerca de los flujos de materiales gestionados por excepciones en tiempo real, compartir documentos en tiempo real, pronóstico colaborativo, planeación colaborativa e implementación de pagos automáticos [3].

Algunos de los logros que brinda una integración exitosa de la CS son, entre otros: una colaboración genuina entre todas las partes de la CS, con información y recursos compartidos; costo más bajo debido a operaciones equilibradas, menor nivel de inventarios, economías de escala, la eliminación de actividades que no agregan valor. Asimismo, se mejora el rendimiento debido a pronósticos más precisos, una mejor planificación y la mejora del flujo de materiales; mejor servicio al cliente, con tiempos de entrega más cortos, entregas más rápidas y mayor nivel de personalización. También se logra una mayor flexibilidad, permitiendo a las organizaciones reaccionar más rápido a las condiciones cambiantes; procedimientos estandarizados, evitando la duplicación de esfuerzos, información y planificación entre otros. Se obtiene una calidad confiable y una menor cantidad de inspecciones con programas de gestión de calidad integrados [4].

Desde una perspectiva de economía de la empresa, la

tarea de la ICS requiere de la coordinación de materiales, la información y los flujos financieros con el fin de cumplir las demandas de los clientes; el objetivo es la mejora de la competitividad, generando un plan integrado de la CS en su conjunto. La planeación a largo plazo es el objetivo estratégico para el diseño de la CS, contempla la cooperación, localización de planta, sistemas de producción, la distribución física de planta, entre otros; las tareas de planificación a mediano plazo están cubiertas por compras, planeación de requerimientos de materiales, la demanda (pronóstico) e inventarios; la planificación a corto plazo contempla la planificación del transporte, la distribución y programación de la producción [5].

La ICS se desarrolla desde la etapa de negociación hasta la etapa de colaboración. Las negociaciones de mercado, que incluyen discusiones enfocadas hacia el precio y las relaciones entre socios y adversarios; la asociación donde se establecen acuerdos económicos; la cooperación que busca establecer contratos a largo plazo con pocos proveedores; la coordinación del intercambio con apoyo de las TIC; la colaboración, donde se manifiesta la integración de la cadena, se realiza la planificación conjunta y se comparte la tecnología. [6,7].

Las negociaciones son fundamentales en todos los eslabones de la CS, ya que garantizan la eficiencia en el movimiento de mercancías y productos. Es importante considerar variables tales como los volúmenes de suministro y compra en los diferentes niveles de la cadena. En las cadenas tradicionales, la negociación era considerada como un proceso largo y delicado; en la actualidad esta tarea se ha simplificado debido al uso de las tecnologías de la información, las cuales han permitido el desarrollo de modelos informáticos que permiten administrar estratégicamente la cadena. Existen diferentes técnicas y métodos para solucionar el problema de la negociación dentro de la cadena, por ejemplo el sistema multi-agentes (SMA), es un sistema que está compuesto por múltiples agentes inteligentes que interactúan entre ellos, los agentes que intervienen pueden realizar negociaciones y llegar a acuerdos entre otros, se obtienen mejoras en el servicio y el nivel de beneficios de los miembros de la CS [8-12].

La asociación entre empresas representa toda vinculación temporal por contratos especiales o por colaboración económica, que introduce a acciones coordinadas o a tareas propias de comportamiento como grupo económico. La mayoría de las asociaciones entre empresas están directamente vinculados a las actividades básicas de las empresas (comprar para producir y vender) o centradas en las actividades de la CS o sector al que pertenecen. La asociación se constituye con el fin de lograr un mejor desarrollo de proyectos, servicios o suministros, pudiéndose agrupar tanto sociedades como empresarios individuales [13].

La cooperación implica la alineación de los integrantes de la CS hacia un objetivo común y un propósito compartido; la cooperación no sugiere una estrecha relación de trabajo operativo, sino más bien una actitud positiva hacia los demás integrantes de la cadena. Empujadas por la globalización y el consiguiente aumento de la competencia, las diferentes empresas que integran las CS han entendido la importancia del intercambio de información, la toma de decisiones

conjunta y la cooperación; y por consiguiente, la forma de sincronizar las actividades locales a través de los procesos globales y la forma de establecer una relación de colaboración en la CS, permitiendo identificar disfunciones en el proceso de cooperación, sobre todo cuando están involucradas empresas grandes y pequeñas [14-16].

Por coordinación se identifica el grado y forma de interrelación de las diferentes actividades de la CS. La coordinación se basa en una situación de ganar-ganar para todas las partes involucradas. Un mínimo grado de coordinación indica autonomía e independencia de las actividades en cada lugar, contradiciendo en parte la propia naturaleza de la empresa global. Por el contrario, un alto grado de coordinación será mayor cuanto más elevado sea el grado de globalización de la empresa. Los modelos de coordinación más comunes funcionan bajo esquemas centralizados o descentralizados, activados con mecanismos de coordinación implícitos o explícitos. Los llamados mecanismos de coordinación son aplicados para lograr minimizar los costos totales de la CS [17-21].

La colaboración se basa en el intercambio de información, de funciones, de conocimiento y procesos de negocio, con el objetivo de crear una ventaja competitiva para todos los participantes de la comunidad de negocio en la CS, incluye empleados, clientes, proveedores y socios [22]. La colaboración entre los socios comienza cuando llegan a interiorizar que el éxito de cada uno de los miembros depende de los otros, y de cómo se logra satisfacer al cliente final [7,23]. Frente a la competencia global intensificada, las empresas se esfuerzan para lograr una mayor colaboración en la CS mediante el aprovechamiento de los recursos y el conocimiento de los principales proveedores y clientes valiosos (integrantes estratégicos de la CS) para reducir la incertidumbre, minimizar costos de operación, intercambio de información, aprovechar las oportunidades para el aprendizaje, la creación de conocimiento y mejorar la posición competitiva [24,25].

La colaboración implica una coordinación simultánea de las decisiones efectuadas por centros decisionales del mismo nivel temporal (integración espacial) y por centros decisionales de niveles temporales diferentes (integración temporal) [26]. La colaboración en la CS es una estrategia que permite mejorar el desempeño de las empresas, las cuales mediante acciones conjuntas logran obtener sinergias que las llevan a reducir costos, mejorar la satisfacción de los clientes y hacer frente a los retos de competitividad requeridos para ser exitosos en el entorno actual [7,27]. Como el enfoque último de los niveles de integración de una cadena de suministro, la colaboración se distingue por los tipos de objetos que se intercambian entre los distintos dominios en que se establecen los planes colaborativos, se hace énfasis en compartir información concerniente a: planes y estrategia de negocios conjuntos, objetivos, contratos, proveedores, compras, inventarios, demanda (pronósticos), distribución, rutas, clientes, indicadores y las excepciones que puedan presentarse a los contratos [7,25,28].

3. Materiales y métodos

Este trabajo se llevó a cabo en 5 etapas: (1) revisión literaria acerca de la ICS (visto en el apartado dos de este

documento), (2) diseño del modelo de integración, (3) estructuración y validación de un cuestionario que se utiliza para alimentar el modelo diseñado, (4) implementación de la solución del modelo utilizando lógica difusa y (5) aplicación del modelo en distintas empresas.

3.1. Diseño del modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas

A partir de la revisión bibliográfica se definieron los factores para cada una de las dimensiones que integran la medición del nivel de integración de la CS colaborativa: integración estratégica, integración táctica, integración operativa y retroalimentación (Fig. 1). La integración estratégica contempla: la estrategia de la empresa, la información, los planes y los contratos. La integración táctica toma en cuenta el pronóstico de la demanda, los proveedores, las compras y los inventarios. La integración operativa incluye la distribución y las rutas. La medición del desempeño (retroalimentación) incluye los indicadores y las excepciones encontradas a los contratos.

A partir de las dimensiones mostradas en la Fig. 1 y los factores (variables) relacionados con cada una de las mismas, se formuló el modelo de ICS colaborativas propuesto, conformado por una entrada, un proceso y una salida (Fig. 2); además, se definieron las métricas para la medición de cada una de las variables utilizadas en el modelo (Anexo 1).

a. Entrada: considera la CS que se evaluará, donde existe una empresa central que busca integrar todos los procesos y actores a su estrategia, objetivos y planes; para lo cual es necesario que se realicen acuerdos, se comparta información con los integrantes estratégicos de la cadena y se determine en dónde empieza y termina la misma, lo anterior para definir la cantidad de actores y eslabones. Se tiene como entrada también un cuestionario que sirve de información para alimentar el modelo.

b. Proceso: en este bloque se definen tres etapas del proceso de integración de la cadena:

- Nivel estratégico: tiene que ver con la planeación a largo plazo y contempla la estrategia del plan de negocios de la empresa, los objetivos, el determinar y regular el flujo de información, definir los planes de colaboración y las cláusulas de los contratos a realizar con los integrantes estratégicos de la CS.
- Nivel táctico: es alimentado por el nivel estratégico y contempla la planeación a mediano plazo, incluye el pronóstico de la demanda, los proveedores y su

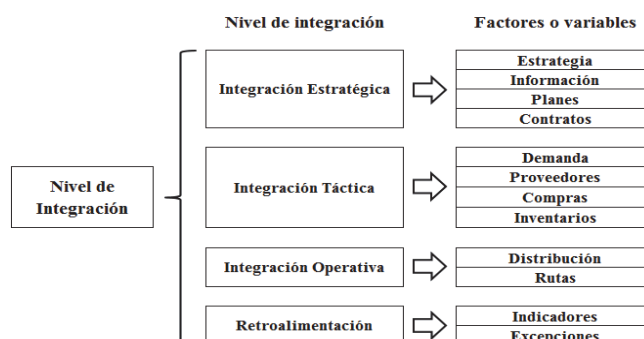


Figura 1. Niveles de integración y factores/variables considerados.
Fuente: Los Autores.

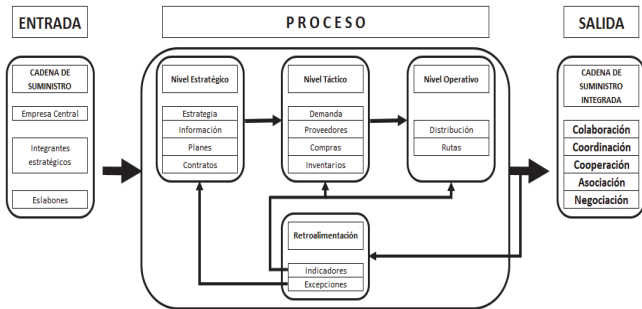


Figura 2. Modelo de ICS colaborativas propuesto.
Fuente: Los Autores.

desempeño, la planeación de las compras y su relación con los niveles de inventarios. La salida alimenta al nivel operativo.

- Nivel operativo: Considera la distribución de las mercancías y su trazabilidad dentro de la CS; así mismo, considera también el ruteo de vehículos.

c. Salida: muestra el nivel de ICS, determinando si se encuentra en la etapa de negociación, asociación, cooperación, coordinación o colaboración. La salida también proporciona información sobre los indicadores estratégicos de la CS y las excepciones encontradas a los contratos establecidos. El modelo se retroalimenta y los indicadores se utilizan para corregir las desviaciones a nivel táctico y operativo, mientras que las excepciones encontradas retroalimentan el nivel estratégico.

La aplicación de este modelo de ICS permitirá a nivel estratégico: mejorar la estrategia y el plan de negocios conjunto entre los integrantes estratégicos de la CS, definir y optimizar el flujo de información, integrar y mantener actualizados los planes y contratos realizados.

A nivel táctico: mejorar la precisión del pronóstico de la demanda, optimizar el proceso de adquisición, reducir los inventarios, lograr ciclos de reposición más rápidos, mejor comunicación y respuesta con los proveedores y disminuir los costos logísticos.

A nivel operativo: mejorar la planificación de la distribución de las mercancías, conocer la ubicación de su mercancía dentro de la CS, optimizar las rutas de distribución de mercancías y disminuir las demoras en el cumplimiento de órdenes.

3.2. Estructuración y validación del instrumento de medición

Se diseñó un instrumento de medición a manera de cuestionario para evaluar el nivel de ICS (Anexo 1), mismo que considera cada una de las variables utilizadas en el modelo propuesto; se retroalimentó con expertos del área académica de los países de México y Cuba con estudios de doctorado en Logística, CS e Ingeniería Industrial; así como por personal del área de Logística y CS de algunas de las empresas encuestadas.

El instrumento de medición se dividió en 3 secciones, la primera consta de información general de la empresa encuestada y del responsable del llenado de la misma,

también permite conocer entre otras cosas el sector en que se desempeña la empresa, perfil del encuestado, tiempo de permanencia en el mercado, si se cuenta con un plan de negocios establecido y contratos con clientes y proveedores.

En la segunda sección se encuentra el cuestionario que sirve como entrada al modelo de ICS desarrollado, consta de 18 preguntas de opción múltiple con una escala ordinal de cinco niveles, que permiten al encuestado ubicar rápidamente a su empresa en una etapa de integración por cada variable específica. La tercera sección permite al responsable del llenado del instrumento, escribir comentarios que han servido de retroalimentación para mejorar el mismo.

Para su aplicación se desarrolló un programa escrito en lenguaje Java, que permitió enviarlo por correo electrónico a distintas empresas; la herramienta válida que todas las preguntas sean contestadas y que se devuelvan las respuestas de forma automática.

La metodología utilizada para determinar la validez y confiabilidad del instrumento de medición fue en primera instancia, evaluar la confiabilidad del instrumento mediante el estadístico alfa de Cronbach (alfa); después se realizó la evaluación de la validez mediante un análisis factorial, con los resultados se reestructuró el cuestionario y se realizaron las adecuaciones al modelo de ICS propuesto [29].

El estadístico alfa brinda una medida de confiabilidad de consistencia interna, es el promedio de todos los coeficientes posibles de división por mitades que resultan de las diferentes divisiones de los reactivos de la escala. El método de cálculo requiere una sola aplicación del instrumento de medición, se realiza la medición y se calcula el coeficiente. [30,31].

La validez del instrumento se realizó a través de un análisis de factores, que nos indica cuántas dimensiones integran a una variable y qué reactivos conforman cada dimensión. El análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables; los reactivos que no pertenezcan a una dimensión, quiere decir que están “aislados” y no miden lo mismo que los demás; por tanto, deben eliminarse. [30,31].

3.3. Implementación de la solución del modelo utilizando lógica difusa

La gestión eficiente de una CS para cumplir con el nivel de servicio requerido por el cliente es muy difícil, ya que existen diversas fuentes de incertidumbre y complejas interrelaciones en los distintos niveles entre sus integrantes; además, el diseño de las redes de las CS es una tarea difícil debido a la complejidad intrínseca de los principales subsistemas de estas redes y las muchas interacciones entre estos subsistemas. Se encuentra incertidumbre en el suministro, que está relacionada con el desempeño de los proveedores debido a los retrasos en las entregas o materias primas fuera de especificaciones; incertidumbre resultante de los procesos de producción dentro de las empresas y, la incertidumbre en la demanda de productos debido a un pronóstico inexacto [32-35].

La lógica difusa tiene sus raíces en la teoría de conjuntos difusos desarrollada por Zadeh en la década de los 60's; dicha teoría propone que un elemento siempre pertenece en un

cierto grado a un conjunto y nunca pertenece del todo al mismo, esto permite establecer una manera eficiente para trabajar con datos inciertos o con conocimiento subjetivo, así como para acondicionar el conocimiento en forma de reglas lingüísticas hacia un plano cuantitativo; los más populares sistemas de lógica difusa son Mamdani y Takagi–Sugeno.

Como una forma de resolver los retos de la gestión y administración en las CS, han surgido teorías, enfoques y metodologías que utilizan herramientas como la lógica difusa para obtener soluciones confiables que se adapten a los cambios de los parámetros de la imprecisión [36–40].

La lógica difusa tiene dos grandes componentes: funciones de membresía y reglas difusas, mediante su uso es posible representar expresiones lingüísticas como expresiones matemáticas; lo anterior es muy útil cuando es necesario modelar la experiencia de un experto [41]. Las funciones de pertenencia nos indican el grado en que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto; es decir, la función de pertenencia de un conjunto A sobre un universo X será de la forma: $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x) = r$, si r es el grado en que x pertenece a A. En la ec. (1) se muestra la función de pertenencia para un conjunto difuso triangular.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x - a)/(m - a), & x \in (a, m) \\ (b - x)/(b - m), & x \in (m, b) \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (1)$$

Para aplicarse en distintos entornos, las funciones de pertenencia pueden tomar diferentes formas de acuerdo a la experiencia y preferencias del diseñador. A la hora de determinar una función de pertenencia, normalmente se eligen funciones sencillas, para que los cálculos no sean complicados; las más utilizadas son las funciones triangulares y las trapezoidales. En la Fig. 3 se muestra la gráfica de una función de pertenencia triangular para un conjunto difuso dado.

Esencialmente, un sistema difuso es una estructura basada en conocimiento, definida a través de un conjunto de reglas difusas del tipo SI–ENTONCES (antecedente y consecuente); las cuales, contienen una cuantificación lógica difusa de la descripción lingüística del experto. En este trabajo se hizo uso de la función triangular debido a la naturaleza de las variables utilizadas, ya que es la función que mejor se ajustó a los datos de entrada y salida del modelo. Se utilizó el sistema de lógica difusa tipo Mamdani porque tanto

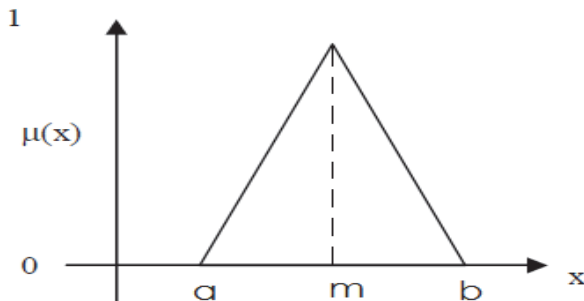


Figura 3. Función de pertenencia triangular para un conjunto difuso. Fuente: [41].

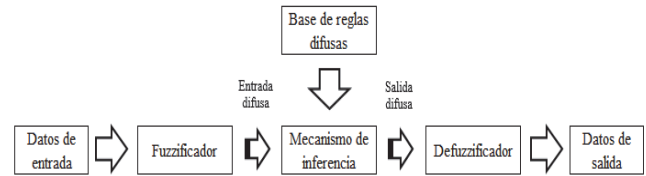


Figura 4. Sistema de lógica difusa tipo Mamdani. Fuente: [41].

el antecedente como el consecuente de las reglas están dadas por expresiones lingüísticas [42,43].

El sistema tipo Mamdani (Fig. 4) está compuesto de cuatro bloques:

Fuzzificador: las entradas del sistema Mamdani son valores normalmente numéricos, que provienen de algún tipo de sensor o son resultados de un proceso; para poder operar este valor, los sistemas Mamdani traducen dicho valor en un valor “difuso” que puede ser operado por los mecanismos de inferencia. Esta traducción es realizada por el fuzzificador, que convierte los valores numéricos en valores difusos que representan el nivel de pertenencia de las diferentes variables del sistema en cada conjunto difuso.

Base de reglas difusas: es la forma en que los sistemas difusos Mamdani representan la experiencia y el conocimiento lingüístico para resolver el problema. Es un conjunto de sentencias SI–ENTONCES que contiene dos partes: antecedente y consecuente (expresiones lingüísticas).

Mecanismo de inferencia: una vez que el fuzzificador ha traducido los valores difusos, éstos tienen que ser procesados para generar una salida difusa. La tarea del mecanismo de inferencia es tomar valores difusos y generar una salida difusa basada en una base de reglas difusas.

Defuzzificación: la salida de inferencia del sistema es una salida difusa, por lo que no puede ser interpretada por un elemento externo que sólo opere datos numéricos. Para hacer posible la utilización de estos datos, la salida se traduce a un formato numérico por el defuzzificador, usando los procedimientos del centro de gravedad o centros promediados.

La etapa de fuzzificación del modelo de ICS, se muestra en el diagrama de bloques de la Fig. 5. Se puede apreciar que la integración estratégica está dada por la combinación de los factores estrategia, información, planes y contratos, que a su vez son alimentadas por los resultados del cuestionario aplicado a las empresas para tal fin; así mismo, se puede ver cómo quedan definidas la integración táctica, la integración operativa y la retroalimentación del modelo.

El nivel global de la cadena de suministro es mostrado en la Fig. 6; está constituido por las salidas difusas de la integración estratégica, táctica, operativa y la retroalimentación, dando como resultado un valor difuso que se convierte a valor lingüístico (defuzzificación) y nos indica si la CS está en el nivel de negociación, asociación, cooperación, coordinación o colaboración, según sea el resultado específico de la valoración realizada.

Las reglas difusas son un modo de representar estrategias o técnicas apropiadas cuando el conocimiento proviene de la experiencia o de la intuición, están compuestas por variables lingüísticas que forman la premisa de la condición y una

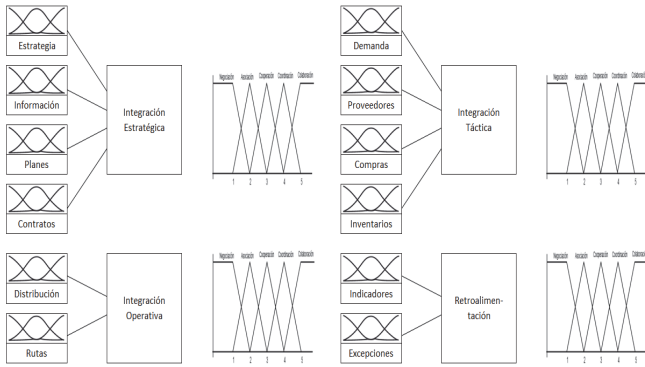


Figura 5. Etapa de fuzzificación de los factores de entrada.
Fuente: Los Autores.

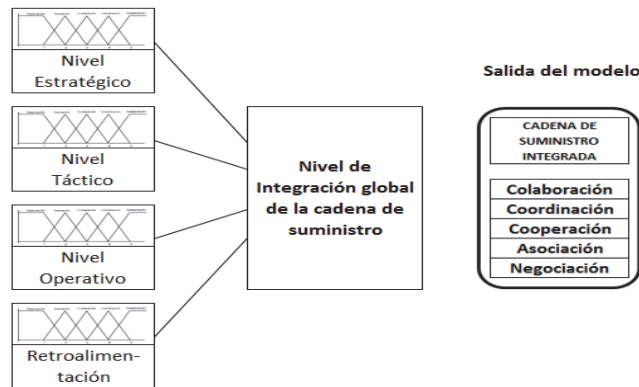


Figura 6. Etapa de defuzzificación a la salida del modelo de ICS.
Fuente: Los Autores.

conclusión, son escritas como pares antecedentes–consecuentes de oraciones SI–ENTONCES y guardadas en forma tabular. La combinación de las etiquetas lingüísticas de las variables difusas forma la base de reglas difusas. En este trabajo se definieron 275 reglas de inferencia a través de expertos académicos para determinar la relación entre las distintas variables de entrada; se contemplaron todas las posibles combinaciones en las entradas y se asignó una conclusión a cada una.

El mecanismo de inferencia utiliza el criterio máximo–mínimo para calcular el valor difuso de salida; en primera instancia se considera a los valores de entrada y a la base de reglas difusas para determinar el conjunto de reglas que se activan y las conclusiones relacionadas (conjuntos difusos de la variable de salida). Para conocer el valor difuso de la regla activada se utilizan las operaciones entre conjuntos difusos, la ec. (2) se emplea para determinar el valor difuso de una regla activada (entrada del mecanismo de inferencia) y la ec. (3) nos muestra la unión para determinar el valor difuso de un conjunto de reglas activadas (salida del mecanismo de inferencia).

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2)$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3)$$

El proceso de defuzzificación sirve para convertir la salida del mecanismo de inferencia a información que pueda

ser interpretada por cualquier persona. Se utilizó el método del centro geométrico (centroide), con el siguiente procedimiento:

- La salida difusa se descompone en figuras regulares, de acuerdo a los grados de pertenencia de dos conjuntos difusos adyacentes (se busca generar triángulos y rectángulos para facilitar el cálculo de dichas áreas).
- Se calcula la superficie de cada figura obtenida en el inciso a).
- Se determina el centroide de cada figura.
- Se calcula el centroide total (CT) de acuerdo a la fórmula mostrada en la ec. (4).

$$CT = \frac{\sum_{i=1}^I \{Superficie(A_i)[Centroide(A_i)]\}}{\sum_{i=1}^I [Superficie(A_i)]} \quad (4)$$

- Se determina la expresión lingüística para la variable de salida de acuerdo al valor del centroide encontrado.

Para ejemplificar los cálculos desarrollados, a continuación se muestra el cálculo del nivel de integración operativo.

Tomando los resultados de la aplicación del cuestionario en una de las empresas encuestadas para los factores distribución y rutas, y como consecuencia de la aplicación de la ec. (1) se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1. Los valores de entrada están en una escala ordinal del 1 al 5, mientras que los valores difusos se encuentran en una escala de 0 a 1.

De donde: NE=etapa de negociación, AS=etapa de asociación, CP=etapa de cooperación, CR=etapa de coordinación, y CL=etapa de colaboración.

Se determinaron, con el apoyo de expertos, las reglas de inferencia entre las variables distribución y rutas del nivel de integración operativo. En la Tabla 2 se muestran las 25 reglas de inferencia definidas para las diferentes combinaciones de las variables de entrada; por ejemplo, si la variable distribución estuviera en NE y la variable rutas en CP, entonces la salida difusa será AS (regla 3). Si la variable distribución estuviera en CP y la variable rutas en CR, entonces la salida sería CR (regla 14).

Tabla 1. Valores obtenidos de la fuzzificación de las variables distribución y rutas.

Distribución		Rutas		
Valor de entrada		Valor de entrada		
	NE	0.000	NE	0.000
Valor difuso	AS	0.000	AS	0.000
	CP	0.000	CP	0.000
	CR	0.500	CR	1.000
	CL	0.500	CL	0.000

Fuente: los Autores.

Tabla 2. Reglas de inferencia para el nivel de integración operativo.

	Variable: Rutas					
	NE	AS	CP	CR	CL	
Variable: Distribución	NE	NE	NE	NE	AS	CP
	AS	NE	AS	AS	CP	CP
	CP	NE	AS	CP	CR	CR
	CR	AS	CP	CR	CR	CL
	CL	CP	CP	CR	CL	CL

Fuente: los Autores.

Tabla 3.
Etapas de integración difusas resultantes.

Nivel de integración	Valor difuso
Negociación	0.0
Asociación	0.0
Cooperación	0.0
Coordinación	0.5
Colaboración	0.5

Fuente: los Autores.

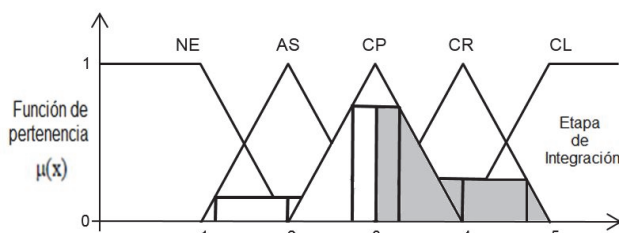


Figura 7. Áreas resultantes para el cálculo del centroide.

Fuente: los Autores.

Al aplicar el mecanismo de inferencia dado por la ec. (2), de las 25 reglas de inferencia diseñadas para relacionar las dos variables tratadas, se activaron las reglas 19 (etapa CR) y 24 (etapa CL). Para encontrar la salida difusa del nivel de integración operativo se aplica la ec. (3) a los resultados anteriores, obteniéndose los valores mostrados en la Tabla 3; se puede apreciar que las etapas de integración CR y CL tiene un valor difuso de 0.5 y los demás valores se quedaron en 0.

Para encontrar el valor de defuzzificación y determinar el nivel de integración, se aplica la ec. (4), obteniéndose un valor de 4.3429, correspondiente al centroide de la parte sombreada de la Fig. 7. La etapa de integración correspondiente al valor difuso obtenido, dado como variable lingüística es COORDINACIÓN (CR). En la Fig. 7, las áreas sombreadas corresponden a las utilizadas para el cálculo del centroide.

3.4. Aplicación del modelo en distintas empresas

La aplicación del modelo se llevó a cabo entre los meses de mayo y agosto del año 2014. Se seleccionó una muestra de 36 empresas para validarlo [30], entre pequeñas, medianas y grandes empresas [44]. Las empresas se contactaron a través de las Cámaras locales de Comercio, los Departamentos de Vinculación de distintas escuelas de nivel superior y profesionales que brindan servicios en el área de logística a las mismas. Las empresas se encuentran ubicadas en los Estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo, todos ellos en México.

4. Resultados y discusión

4.1. Validación del instrumento de medición

Para la realización de los análisis de confiabilidad y validez se utilizó el software IBM SPSS Statistics, versión 20. El resultado del análisis de confiabilidad (coeficiente alfa) se muestra en la Tabla 4, valores mayores de 0.75 se

Tabla 4.
Coeficiente alfa calculado.

Aplicado a:	Elementos	Reactivos	Alfa
Todo el instrumento.	18	Todos	0.970
Integración estratégica.	5	1, 2, 3, 4, 5	0.880
Integración táctica.	6	6, 7, 8, 9, 10, 11	0.901
Integración operativa.	3	12, 13, 14	0.846
Retroalimentación.	4	15, 16, 17, 18	0.917

Fuente: los Autores.

Tabla 5.
Resultados de las pruebas KMO y Bartlett.

Prueba	Resultado
Medida de adecuación KMO.	0.855
Prueba de esfericidad de Chi-cuadrado aprox.	621.327
Bartlett.	153
Sig.	0.000

Fuente: los Autores.

consideran aceptables y arriba de 0.9 son de una confiabilidad elevada [31]. Con base en los resultados obtenidos se puede aseverar que el instrumento es confiable de forma global y en cada una de las dimensiones que lo integran.

Para realizar el análisis de la validez del instrumento (análisis factorial), en primer lugar se realizó el cálculo de dos estadísticos que permiten valorar la bondad de ajuste o adecuación de los datos analizados a un modelo factorial: la medida de adecuación muestral de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. En la Tabla 5 se muestran los resultados de ambas pruebas, valores mayores de 0.6 en la prueba KMO y menores de 0.05 en la prueba de Bartlett justifican la realización de un análisis factorial [29]; una vez analizados los resultados se concluye que el análisis factorial se puede aplicar de forma adecuada.

En la aplicación del análisis factorial se puede utilizar el método de análisis de componentes principales, debido a que el objetivo es condensar la mayoría de la información original en un número de factores para propósitos de predicción. Los factores a extraer son aquellos que tengan autovalores mayores a uno [29]. Se analizaron las 18 variables del instrumento diseñado obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 6, en donde se observa que dos factores obtienen valores mayores de 1, por lo que es la cantidad de factores que se extrae.

En la Tabla 7 se muestra la solución factorial encontrada; contiene las correlaciones entre las variables originales y cada uno de los factores. Se puede apreciar que a excepción de la pregunta P03, todas las demás saturan al factor uno dentro de la matriz de correlaciones (valores mayores de 0.71). La pregunta P03 es la única que presenta un valor significativo (0.704) en la carga del factor 2.

Analizando los resultados de la Tabla 7, se decidió trabajar con una sola variable denominada nivel de integración global. Para determinar si se puede eliminar del cuestionario la pregunta P03, se excluye su información y se repite el proceso de extracción; el resultado (Tabla 8) muestra niveles de carga mayores de 0.71 para cada factor que se consideran excelentes [29], por lo que se determina utilizar todas las preguntas (excepto la pregunta P03 que fue eliminada) para alimentar el modelo de ICS propuesto.

Tabla 6.
Varianza total explicada.

Factor	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones		
	Total	% var.	% acum.	Total	% var.	% acum.
1	12.046	66.924	66.924	12.046	66.924	66.924
2	1.045	5.808	72.732	1.045	5.808	72.732
3	0.916	5.092	77.824			
4	0.626	3.476	81.299			
5	0.564	3.134	84.434			
6	0.481	2.674	87.108			
7	0.393	2.183	89.291			
8	0.372	2.066	91.357			
9	0.306	1.702	93.059			
10	0.268	1.488	94.548			
11	0.241	1.338	95.885			
12	0.193	1.074	96.960			
13	0.152	0.844	97.804			
14	0.138	0.765	98.569			
15	0.095	0.527	99.096			
16	0.083	0.461	99.557			
17	0.051	0.285	99.842			
18	0.028	0.158	100.000			

Fuente: los Autores.

Tabla 7.
Solución factorial encontrada.

Pregunta	Factor	
	1	2
P15	0.904	0.060
P18	0.874	-0.002
P17	0.867	-0.062
P16	0.866	-0.272
P07	0.865	0.038
P05	0.860	-0.026
P01	0.833	-0.253
P02	0.831	-0.095
P04	0.831	0.074
P09	0.827	0.265
P06	0.827	0.282
P11	0.818	0.061
P10	0.811	-0.391
P08	0.808	-0.221
P14	0.780	-0.094
P12	0.745	0.155
P13	0.740	-0.006
P03	0.583	0.704

Fuente: los Autores.

Analizando la carga factorial de cada pregunta en la Tabla 8 y reagrupándolas por carga factorial, se obtienen los nuevos valores para el coeficiente alfa de las distintas dimensiones del modelo de ICS. La pregunta P07 que se consideraba como parte de la medición del nivel de integración táctico se reagrupó

Tabla 8.
Cargas factoriales recalculadas.

Reactivo	Carga factorial	Reactivo	Carga factorial
P15	0.903	P10	0.824
P16	0.875	P09	0.821
P18	0.872	P06	0.820
P17	0.866	P11	0.818
P05	0.862	P08	0.815
P07	0.861	P14	0.782
P02	0.836	P12	0.743
P01	0.836	P13	0.735
P04	0.831		

Fuente: los Autores.

Tabla 9.
Reestructuración del modelo de ICS.

Aplicado a:	No. De elementos	Reactivos	Alfa
Todo el instrumento.	17	Todos excepto P03	0.971
Integración estratégica.	5	1, 2, 4, 5, 7	0.914
Integración táctica.	5	6, 8, 9, 10, 11	0.905
Integración operativa.	3	12, 13, 14	0.758
Retroalimentación.	4	15, 16, 17, 18	0.931

Fuente: los Autores.

Tabla 10.
Etapas de integración obtenidas por empresa.

Etapas de integración	Cantidad de empresas por etapa
NE	11
AS	8
CP	8
CR	7
CL	2

Fuente: los Autores.

en el nivel de integración estratégico por la carga factorial que representa.

En la Tabla 9 se muestra la nueva distribución de preguntas que alimentan al modelo y los correspondientes coeficientes alfa obtenidos.

Con los resultados obtenidos del análisis realizado, quedó determinada la validez y confiabilidad del instrumento de medición.

4.2. Niveles de integración alcanzados por las empresas encuestadas

Una vez alimentado el modelo de ICS, con las respuestas del cuestionario aplicado a las distintas empresas, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 10; de las 36 empresas encuestadas se encontraron 11 en la etapa de negociación, 8 en asociación, 8 en cooperación, 7 en coordinación y 2 en colaboración. Se puede apreciar que la mayoría de las empresas valoradas se encuentran en las etapas centrales de integración (AS, CP y CR), mientras que la etapa de colaboración es la más difícil de alcanzar para las empresas.

Analizando los niveles estratégico, táctico, operativo y la retroalimentación (medición del desempeño por medio de indicadores y excepciones) por separado, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 11; se aprecia que a nivel estratégico la mayoría de las empresas encuestadas se encuentran en las etapas bajas del proceso de integración (25 empresas entre las etapas de NE, AS y CP), mientras que a nivel táctico, operativo y en medición del desempeño se encuentran en las etapas medias del proceso de integración (AS, CP y CR con una cantidad de 25, 24 y 23 empresas respectivamente).

Aunque el nivel de integración global máximo (colaboración) lo alcanzaron solamente 2 empresas, en la Tabla 11 se puede ver que en la etapa CL, a nivel estratégico se encuentran 3 empresas, 2 empresas a nivel táctico, una empresa a nivel operativo y 2 en la medición del desempeño y excepciones.

Tabla 11.
Niveles de integración estratégico, táctico y operativo desglosados.

Etapa	Integración			
	Estratégica	Táctica	Operativa	Retroalim.
NE	12	9	11	11
AS	10	6	7	7
CP	5	14	11	11
CR	6	5	6	5
CL	3	2	1	2

Fuente: los Autores.

5. Conclusiones

Para la formulación del modelo, se realizó una revisión bibliográfica sobre el estado del conocimiento de la ICS en artículos científicos, tesis doctorales y libros especializados, logrando establecer los elementos conceptuales que permitieron definir un modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas desde los niveles estratégico, táctico y operativo; así mismo, se definieron las características que determinan las etapas de integración como salida del modelo y su interacción conjunta.

El instrumento de medición se validó estadísticamente con información proporcionada por 36 empresas entre pequeñas, medianas y grandes; los resultados indican que el modelo puede aplicarse a cualquier empresa que desee medir y mejorar el nivel de integración de su CS.

Para la resolución del modelo se empleó la lógica difusa, que es una técnica de la inteligencia artificial, que permite modelar expresiones lingüísticas como expresiones matemáticas y definir por expertos la relación entre las variables en un plano cuantitativo; además de que se adapta con facilidad a la incertidumbre asociada a las variables.

Como resultado de la aplicación del modelo se determinó que la mayoría de las empresas se encuentran por debajo de la media (etapa de cooperación) en su nivel de integración y que deben de implementar acciones, sobre todo a nivel estratégico (nivel donde se encuentra la etapa de integración más baja de las empresas encuestadas en su conjunto). Las acciones se deben de implementar con los integrantes estratégicos de la CS y enfocarse en mejorar la estrategia y el plan de negocios conjunto, acordar y optimizar el flujo de información, e integrar y mantener actualizados los planes y contratos de acuerdo a los indicadores y las excepciones operativas a los contratos, encontradas.

Como trabajos futuros se buscará aplicar el modelo de ICS en empresas de sectores productivos específicos, para verificar que el modelo desarrollado se pueda implementar en dichos sectores. Así mismo, se desarrollará una aplicación computacional, con un sistema experto embebido, que permita a las empresas monitorear en tiempo real su nivel de integración y les muestre los indicadores que requieren su atención para mejorar el nivel de integración actual.

Referencias

- [1] Andersen, A., Implementing integrated supply chain management for competitive advantage [Online], Institute of Management Accountants, USA, 1999 [date of reference January 20th of 2014]. Available at:

- <http://www.imanet.org/PDFs/Public/Research/SMA/Implementing%20Integrated%20Supply%20Chain.pdf>.
- [2] Stevens, G.C., Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19 (8), pp. 3-8, 1989.
- [3] Crespo-Marquez, A., Dynamic modelling for supply chain management. Ed. Springer London, 2010, pp 171-188.
- [4] Waters, D., *Logistics: An introduction to supply chain management*. Ed. Plgrave Macmillan, England, 2003, pp 27-54.
- [5] Albrecht, M., Supply chain coordination mechanisms, *New Approaches for Collaborative Planning*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Ed. Springer Germany, 2010, pp. 5-62.
- [6] Pires, S. y Carretero, L., *Gestión de la cadena de suministros*, Ed. Mc Graw Hill España, 2007.
- [7] Sablón-Cossio, N., *Modelo de planificación colaborativa estratégico en cadenas de suministros en Cuba*. Tesis Doctorado en Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Matanzas: Matanzas, Cuba. 2014.
- [8] Hernández, J., Mula, J., Poler, R. and Lyons, A., Collaborative planning in multi-tier supply chains supported by a negotiation-based mechanism and multi-agent system, *Group Decision and Negotiation*, 23 (2), pp 235-269, 2014.
- [9] Lopez, F. and Coelho, H., Bilateral negotiation in a multi-agent supply chain system. *E-Commerce and Web Technologies (EC-Web)*, 2010, pp. 195-206.
- [10] Saberi, S., and Makatsoris, C., Multi agent system for negotiation in supply chain management. *The 6th International Conference on Manufacturing Research (ICMR08)*, 2008, pp. 311-317.
- [11] Putten, S.V., Robu, V., Poutré, H.L., Jorritsma, A. and Gal, M., Automating supply chain negotiations using autonomous agents: A case study in transportation logistics. *AAMAS*, 2006, pp. 8-12.
- [12] Chao, Y., Lin, H.W. and Murata, T., Negotiation based collaborative planning in two-tier supply chain. *Proceedings of International Multiconference of Engineers and Computer Scientists*, 3, 2010.
- [13] Kolka, A., van-Tulderb, R. and Kostwinder, E., Business and partnerships for development. *European Management Journal*, 26 (4), pp. 262-273, 2008.
- [14] Ming, Y., Grabot, B. and Raymond, H., A typology of the situations of cooperation in supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 67, pp 56-71, 2014.
- [15] Yong, Y., Chen-Guang, L. and Ikou K., Cooperation and leadership policies in a serial supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 30 (1), pp. 1-7, 2011.
- [16] Hülsman, M., Grappa, J. and Li, Y., Strategic adaptivity in global supply chains - Competitive advantage by autonomous cooperation. *International Journal of Production Economics*, 114 (1), pp. 14-26, 2008.
- [17] Moussawi-Haidara, L., Dbouka, W., Jaber, M. and Ibrahim H.O., Coordinating a three-level supply chain with delay in payments and a discounted interest rate. *Computers & Industrial Engineering*, 69, pp. 29-42, 2014.
- [18] Arshinder, Kanda, A. and Deshmukh, S. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal of Production Economics*, 115 (2), pp 316-335, 2008.
- [19] Ximin, H., Jia-Wen, G., Wai-Ki, Ch. and Tak-Kuen, S., Impact of secondary market on consumer return policies and supply chain coordination. *Omega*, 45, pp. 57-70, 2014.
- [20] Ma, P., Wang, H. and Shang, J., Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts. *International Journal of Production Economics*, 146 (2), pp. 745-755, 2013.
- [21] Arya, A., Löffler, C., Mittendorf, B. and Pfeiffer, T., The middleman as a panacea for supply chain coordination problems. *European Journal of Operational Research*, 240 (2), pp. 393-400, 2015.
- [22] Ashayeri, J. and Kampstra, P., Collaborative replenishment: A step-by-step approach. *Dynamic Green Logistics*, 14, 2003.
- [23] Hao, H., Xinggen, W. and Hongyu, L., Research on the Collaborative Plan of Implementing High Efficient Supply Chain. *Energy Procedia*, 16, pp. 1118-1123, 2012.
- [24] Mei-Cao, Vonderembse, M., Zhang, O. and Ragu-Nathan, T., Supply chain collaboration: Conceptualisation and instrument development. *International Journal of Production Research*, 48 (22), pp. 6613-6635, 2010.

- [25] VICS (Voluntary Interindustry Commerce Standards), Business planning, linking CPFR and SOP: A roadmap to integrated business planning, 2010, 24 P.
- [26] Alemany-Díaz, M., Alarcón-Valero, F., Lario-Esteban, F. et al., Herramienta informática para el diseño y ejecución del proceso de planificación colaborativa en cadenas de suministro (1ª parte). DYNA, 85 (1), pp. 61-70, 2010.
- [27] Arango-Serna, M.D., Adarme-Jaimes, W. and Zapata-Cortes, J.A., Collaborative inventory in supply chain optimization. DYNA, 80 (181), pp. 71-80, 2013.
- [28] Ta-Ping, L., Trappey, A., Yi-Kuang, C. and Yu-Da, C., Collaborative design and analysis of supply chain network management key processes model. Journal of Network and Computer Applications, 36 (6), pp. 1503-1511, 2013.
- [29] Cano-Olivos, P., Orue-Carrasco, F., Martínez-Flores, J.L., Mayett-Moreno, Y. and López-Nava, G., Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México. Contaduría y Administración, 60 (1), pp. 181-203, 2015.
- [30] Malhotra, N., Investigación de mercados, Ed. Prentice Hall México, 2008.
- [31] Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. and Baptista-Lucio, M., Metodología de la investigación, Ed. Mc Graw Hill, México, 2010.
- [32] Hokey, M. and Gengui, Z., Supply chain modelling: Past, present and future. Computers & Industrial Engineering, 43, pp. 231-249, 2002.
- [33] Campuzano-Bolarín, F., Martínez-Caro, E. and Ros-McDonell, L., Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas. Análisis de su influencia en la gestión de la variabilidad de la demanda. DYNA Ingeniería e Industria, 85 (1), pp. 33-40, 2010.
- [34] S.M.J.-Mirzapour, A., Malekly H. and Aryanezhad, M.B., A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. International Journal of Production Economics, 134 (1), 28-42, 2011.
- [35] You, F., Wassick, J.M. and Grossmann, I.E., Risk management for a global supply chain planning under uncertainty: Models and algorithms. American Institute of Chemical Engineers Journal, 55, pp. 931-946, 2009.
- [36] Peidro, D., Mula, J., Polera, R. and Verdegayb, J.L., Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. Fuzzy Sets and Systems, 160 (18), pp. 2640-2657, 2009.
- [37] Wang, J.L., A supply chain application of fuzzy set theory to inventory control models – DRP system analysis. Expert Systems with Applications. An International Journal, 36 (5), pp. 9229-9239, 2009.
- [38] Yuh-Wen, C., Larbani, M. and Chen-Hao, L. Simulation of supply chain game with multiple fuzzy goals. Fuzzy Sets and Systems, 161 (11), pp. 1489-1510, 2010.
- [39] Ghane, M. and Jafar, M., Multi-objective design of fuzzy logic controller in supply chain. Journal of Industrial Engineering International, 8 (10), 2012.
- [40] Peidro, D., Mula, J., Jimenez, M. and Botella, M.M., A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. European Journal of Operational Research, 295 (1), pp. 65-80, 2010.
- [41] Aguilar-Lasserre, A., Lafarja-Solabac, M., Hernandez-Torres, R., Posada-Gómez, R., Juárez-Martínez, U. and Fernández-Lambert, G., Expert system for competences evaluation 360° feedback using fuzzy logic. Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-18, 2014.
- [42] Adarme-Jaimes, W., Arango-Serna, M.D. and Cogollo-Flórez, J.M., Medición del desempeño para cadenas de abastecimiento en ambientes de imprecisión usando lógica difusa. Ingeniería y Universidad. [Online]. 16 (1), 2012. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2013] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47723297006>.
- [43] Escobar-Gómez, E., Díaz-Núñez, J. and Taracena-Sanz, L., Modelo para el ajuste de pronósticos agregados utilizando lógica difusa. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 11 (3), pp. 289-302, 2010.
- [44] Micro, pequeña, mediana y gran empresa, estratificación de los establecimientos: Censos Económicos 2009 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México, 2011.
- H. Bautista-Santos**, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Es Profesor–Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México, en el que labora desde el año 1995. ORCID: 0000-0002-3925-2438
- J.L. Martínez-Flores**, es Dr. en Ingeniería con especialidad en Ingeniería de Sistemas. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1, recibió el Premio Nacional de Logística en el área Académica en el año 2013. Es Profesor–Investigador del Posgrado en logística y dirección de la cadena de suministro en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. ORCID: 0000-0003-2986-469X
- G. Fernández-Lambert**, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Obtuvo una mención honorífica de mérito a la investigación en su trabajo de investigación doctoral. Es Profesor–Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México en el que labora desde el año 1994. ORCID: 0000-0002-4259-296X
- M.B. Bernabé-Loranca**, es Dra. en Investigación de Operaciones por la Universidad Nacional Autónoma de México, México. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Realizó estudios de posdoctorado en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. Es Profesora–Investigadora de la Facultad de Ciencias de la Computación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, desde el año 1995. ORCID: 0000-0003-3014-4139
- F. Sánchez-Galván**, es estudiante del Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Es Profesora–Investigadora en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México en el que labora desde el año 1998. ORCID: 0000-0002-6534-3210
- N. Sablón-Cossío**, es Dra. en Ciencias Técnicas. Es Profesora–Investigadora en la Universidad Estatal Amazónica, Ecuador en el Departamento de Ciencias de la Tierra. ORCID: 0000-0002-6691-0037