

El Seis Sigma en La Cadena de Suministro¹

Six Sigma in The Supply Chain

R. A. Gómez, P. D. Medina, A. A. Correa

Recibido Febrero 28 de 2012 - Aceptado Noviembre 30 de 2012

Resumen—El presente artículo tiene como objetivo presentar el estado del arte de la utilización del seis sigma en la cadena de suministro. Como resultado del artículo, se identifica una oportunidad de investigación relacionada con la construcción de una metodología que apoye el diseño y mejoramiento de cadenas de suministro y sistemas logísticos de manera genérica. De otra parte, se analizó la oportunidad del uso del diseño de experimentos entre otras técnicas estadísticas que permitan diseñar o mejorar procesos eficientes con un fundamento estadístico.

Palabras Clave—Cadena de Suministro, Seis Sigma

Abstract—This article aims to present the state of art of the use of Six Sigma in the supply chain. As a result of the article, we identify a research opportunity related to the construction of a methodology to support the design and improvement of supply chains and logistics systems generically. Furthermore, we analyzed the opportunity of using the design of experiments and others statistical techniques in order to designor improve efficient processes with statistical basis.

Key words – Supply Chain, Six Sigma

I. INTRODUCCION

En las empresas manufactureras y servicios se ha utilizado en las últimas tres décadas el seis sigma para mejorar y diseñar productos y procesos buscando satisfacer la necesidad de los clientes a través del cumplimiento de especificaciones, reducción de variabilidad y costos de la operación [1][2][3].

Por su parte, en las cadenas de suministro y sistemas logísticos ha cobrado importancia el uso del seis sigma como técnica de apoyo para la gestión, el diseño y mejoramiento de los procesos de aprovisionamiento, producción, gestión de almacenes, transporte, logística inversa y servicio al cliente,

buscando que estas se realicen de una manera enfocada a satisfacer las necesidades de los proveedores y clientes a través de la reducción de los errores y el aumento de la robustez de los procesos y productos [4][5].

Por los motivos expuestos, el presente artículo de revisión bibliográfica presenta el estado del arte de la utilización del seis sigma en la cadena de suministro y la logística en el ámbito empresarial, lo cual facilitaríala identificación de oportunidades de investigación y tendencias alrededor del tema.

La metodología utilizada en el artículo consiste en la búsqueda, recolección, procesamiento y análisis de artículos científicos de seis sigmas aplicados en la cadena de suministro y la logística empresarial. A partir de la información analizada, se realizan las conclusiones, se identifican las oportunidades de investigación y las tendencias del tema en estudio.

El artículo está estructurado en tres partes. La primera consiste en contextualizar y describir las generalidades de la cadena de suministro. La segunda especifica la elaboración del estado del arte de la utilización del seis sigma en la cadena de suministro. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

II. CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro es un concepto empresarial que ha cobrado importancia en la última década, ya que permite identificar y desarrollar las relaciones, los flujos de información, productos y dinero entre los proveedores, empresas y clientes con el fin de transformar la materia prima en productos terminados, incluyendo el desarrollo de una gestión eficiente de las operaciones [6][7]. Con el fin de presentar las generalidades, objetivos y características de la cadena de suministro, la Tabla 1 expone algunas definiciones.

El funcionamiento de la cadena de suministro se encuentra determinada por los sistemas logísticos, los cuales se encargan de la planificación, implementación y control del

¹ Producto derivado del proyecto de investigación “Mejoramiento del Proceso Logístico con Seis Sigma y Estadística Avanzada”. Presentado por el Grupo de Investigación para el Modelamiento de la Gestión de Operaciones, de la Universidad Nacional Universidad sede Medellín.

flujo de productos, información y dinero a través de procesos de aprovisionamiento, producción, almacenamiento, transporte, distribución y logística inversa buscando satisfacer las necesidades de los clientes al menor costo posible [12][13]. La Tabla 2 presenta algunas definiciones de logística.

A partir de los conceptos de cadena de suministro y logística se determina la importancia que estos tienen para la satisfacción del cliente y los costos de operación de las empresas, de allí la importancia de su adecuado diseño o mejoramiento en el tiempo [17][18].

La literatura ofrece diferentes herramientas para el diseño o mejoramiento de las cadenas de suministro y logística, tales como: la gestión por procesos, *Kaizen*, el mejoramiento continuo, el seis sigma, entre otras que pueden emplearse [19][20].

TABLA 1
Definiciones de cadena de suministro

Autor	Definición
Frazelle [8]	“Red de instalaciones (almacenes, terminales, empresas, puertos, tiendas o hogares), vehículos (camiones, trenes, aviones o buques) y sistemas de información logísticos que permiten la conexión con el proveedor de la empresa y los consumidores”
Mentzer [9]	“Un conjunto de tres o más empresas conectadas o relacionadas con flujos de productos, servicios, finanzas e/o información desde el suministro hasta el cliente final”
Correa y Gómez [10]	“Un conjunto de actividades funcionales que incluye redes de instalaciones, vehículos y sistemas de información logístico que permiten conectar proveedores, fabricantes y distribuidores con el fin de que se transformen en productos terminados que intenten satisfacer las necesidades de los clientes”
Toktaş y Ülengin [11]	“Consiste en múltiples agentes tales como: proveedores, empresas productoras, almacenes y centros de distribución, las cuales toman decisiones relacionadas con la obtención de productos para satisfacer las necesidades del cliente”

Finalmente, se puede indicar que el presente artículo revisa y analiza el estado del arte y tendencias futuras del uso del seis sigma como herramienta de diseño y mejoramiento de la cadena de suministro haciendo énfasis en el uso de la metodología DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement and Control*) y DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design and Verify*), los cuales son considerados los enfoques más comunes en el ámbito académico y empresarial [21][22].

III. SEIS SIGMA EN LA CADENA DE SUMINISTRO

El seis sigma puede ser definido como una estrategia enfocada

al cliente que basada en hechos y datos intenta alcanzar un nivel de la calidad en los procesos reduciendo la cantidad de defectos y minimizando su variabilidad permitiendo de esta manera realizar mejoras de desempeño planificadas y aumentar la eficiencia [23][24][25].

TABLA 2
Definiciones de logística empresarial

Autor	Definición
Ballou [14]	“Es un proceso encargado del flujo de bienes, servicios, información y dinero desde el punto de origen hasta el destino de uso, cuando el cliente los requiera”
Langford [15]	"Aplicación de ingeniería, administración y operaciones para proporcionar un producto que cumplan con las especificaciones del cliente a costo efectivo, incluyendo procesos relacionados con proveedores y fabricantes.
Council of Supply Chain Management Professionals [16]	“Parte del proceso de la gestión de la cadena de suministro encargada de planificar, implementar y controlar de forma eficiente y efectiva el almacenaje y flujo directo e inverso de los productos, servicios y toda la información relacionada con éstos, entre el punto de origen y punto de consumo, con el propósito de cumplir las expectativas del cliente”

Por su parte, Fontalvo [26], describe que el seis sigma es una herramienta que articula el uso de diferentes técnicas de la gestión de la calidad, el control estadístico y el diseño de experimentos; que combinadas con la medición del desempeño de procesos permite centrarse en mejoras focalizadas o de toda la organización; lo cual puede impactar en la reducción de costos de operación y aumento de la rentabilidad. Entre las ventajas del seis sigma está su enfoque en análisis y toma de decisiones basada en datos, mejorando la capacidad de análisis de las alternativas de mejora de las operaciones y productos[27][28][29]. En cuanto a sus desventajas, se consideran las inversiones y la complejidad en su implementación, ya que se requiere coordinar los diseños o mejoras con la estrategia de la organización, entrenamiento del personal, cambio cultural en la empresa, diseño de una estructura organizacional paralela, entre otros aspectos que pueden ser de difícil gestión para empresas pequeñas y medianas[30][31].

En el ámbito de la cadena de suministro, el seis sigma puede ser utilizado para mejorar los flujos de información, productos y dinero en los procesos de aprovisionamiento, producción, gestión de almacenes, transporte, distribución y logística inversa a través del uso de la metodología DMAIC, la cual se basa en la recolección, análisis de datos y desarrollo de propuestas de mejora basada en el uso de herramientas estadísticas buscando de esta manera satisfacer

las necesidades de los clientes y la reducción de errores a un nivel de seis sigma, que conlleva a alcanzar un desempeño de los procesos de 3.4 defectos por un millón de oportunidades, lo cual, es crítico para el uso eficiente de los recursos, enfoque al cliente y diferenciación con la competencia[32] [33].

Respecto al diseño, se puede emplear la metodología DMADV, la cual permite que las operaciones de la cadena de suministro y el sistema logístico se diseñen y verifiquen bajo un enfoque estadístico y gestión, que no solo impacte en el cliente, sino en un enfoque eficiente de funcionamiento respecto al cumplimiento de objetivos y uso de recursos [34] [35][36].

IV. ESTADO DEL ARTE DEL SEIS SIGMA EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Este numeral tiene como objetivo revisar y analizar el estado del arte del uso del seis sigma en la cadena de suministro y en sistemas logísticos con el fin de identificar los enfoques de utilización y oportunidades de investigación alrededor del tema.

A partir de una revisión exploratoria del estado del arte del seis sigma no se han identificado artículos científicos que presenten de manera concisa e integrada su estado actual en la cadena suministro, de allí la importancia de la presente propuesta. Cabe resaltar que se utiliza como fuente de información proveniente de bases de datos como: Science Direct, Taylor And Francys, Dialnet, Emerald, Scopus, entre otras. Para facilitar la presentación del estado del arte, primero se describen los resultados de la búsqueda del tema de cadena de suministro y posteriormente en sistemas logísticos para finalmente realizar un análisis que permita describir el estado actual e identificar algunas oportunidades de investigación (Tabla 3).

TABLA 3
Estado del Arte del seis sigma en la cadena de suministros

Autor	Año	Titulo
Narahari, Viswanadham y Bhattacharya [37]	2000	<i>Design of Synchronized Supply Chains: A Six Sigma Tolerancing Approach</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>I. Utiliza la metodología seis sigma para la sincronización de la cadena de suministro, realizando énfasis en: a) indicadores de desempeño de entrega y b) enfoque de diseño sincronizado para satisfacer las necesidades de los clientes.</p> <p>II. Como trabajo futuro el artículo plantea explorar el uso de la técnica de diseño de experimentos para la sincronización de la cadena de suministro teniendo en cuenta los diferentes modelos que estos tienen asociados.</p>		

TABLA 3 : (Continuación)

Autor	Año	Titulo
Garg, Narahari, y Viswanadham, [38]	2003	<i>Design of six sigma supply chains</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>[1] El artículo introduce un concepto llamado seis sigma para la cadena de suministro que describe y cuantifica la oportunidad y confiabilidad de las entregas El diseño para seis sigma puede ser programado como un problema de programación matemática abriendo oportunidades para estudiar la aplicación de técnicas de optimización, lo cual fortalece el uso de seis sigma con un enfoque en la reducción de la variabilidad y aumento de la sincronización de los procesos.</p>		
Autor	Año	Titulo
Dasgupta [39]	2003	<i>Using the six-sigma metric to measure and improve the performance of a supply chain</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>[2] Presenta un marco metodológico para evaluar el desempeño de las operaciones y actores de la cadena de suministro utilizando métricas del seis sigma como defecto por unidad, defecto por unidad y sigmas, lo cual, permite controlar y mejorar la gestión de la cadena enfocada a la eficiencia y el cliente.</p> <p>I. Como trabajos futuros, se describe el desarrollo de estrategias de caracterización de la cadena de suministro, incluyendo la definición de dependencias entre los procesos logísticos e integración de indicadores del talento humano. Además sugiere evitar el uso indiscriminado de indicadores, lo cual puede dificultar su gestión e identificación de oportunidades de mejora.</p>		
Autor	Año	Titulo
Knowles Whicker, Femat y Canales[40]	2005	<i>A conceptual model for the application of Six Sigma methodologies to supply chain improvement</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>[3] Presenta un modelo que integra el <i>Balance Scorecard</i>, el <i>SCOR</i> (Supply Chain Reference model) y el seis sigma <i>DMAIC</i> (<i>define, measure, analyze, improve and control</i>) como estrategia de mejoramiento de la cadena de suministro a nivel estratégico y operativo operativo buscando de esta manera aumentar los beneficios económicos, satisfacción del cliente y eficiencia en las operaciones a través de la reducción de la variabilidad.</p> <p>[4] Como aporte, se identifica una metodología que resalta la importancia y estructura del seis sigma cuando es aplicado al mejoramiento de la cadena.</p>		

TABLA 3 : (Continuación)

Autor	Año	Título
Jingyue [41]	2008	<i>A Six Sigma-Based Methodology for Performance Measurement of a Supply Chain</i>
Aporte/Trabajo futuro		
I. Este artículo explora como el enfoque de seis sigma a través de la metodología DMAIC puede ser utilizado para medir el desempeño de todos los productos, servicios y procesos y como ayudar una organización a unificar las medidas de desempeño de su cadena de suministro. Entre los indicadores se considera DPU (Defecto por Unidad), DPMO (Defecto Por Millón de Oportunidades), rendimiento de los procesos y CTQ (Critical To Quality) que afectan su desempeño		
Autor	Año	Título
Yuan, Yan, y Xuan [42]	2010	<i>Research on the application of Six-Sigma's method to Supply Chain Management</i>
Aporte/Trabajo futuro		
[1] El artículo presenta una revisión de la aplicación del seis sigma en la cadena de suministro considerando aspectos relacionados con el DMAIC. Además, incluye una metodología que considera las etapas de: confirmación, preparación, implementación, desarrollo y casos de estudios de la utilización del seis sigma en la cadena de suministro buscando la eliminación de desperdicios, la eficiencia en los procesos y un enfoque de mejoramiento continuo que contribuye al desarrollo de la organización.		
Autor	Año	Título
Kuik, Nagalingam, Amer y Saw [43]	2010	<i>Implementation of Six Sigma methodology to improve supply chain network in the context of Malaysian manufacturing industries</i>
Aporte/Trabajo futuro		
[1] Este artículo busca identificar las falencias en las estrategias de implementación del seis en la cadena de suministro buscando aportar en la adecuada apropiación de esta técnica reduciendo la variabilidad y los desperdicios en los procesos a través de un enfoque metodológico en los cuales participan los diferentes actores de la cadena. II. De otra parte, el artículo referencia la importancia de la colaboración en la cadena de suministro para implementar el seis sigma. Adicionalmente, como trabajo futuro plantea desarrollar una metodología holística que oriente la implementación de esta técnica permitiendo alcanzar el mejoramiento continuo.		

A partir de la revisión del estado del arte del seis sigma en la cadena de suministro se identificaron siete artículos. Dos de los artículos se enfocaban en la aplicación del seis sigma en el diseño de la cadena buscando garantizar el cumplimiento de las especificaciones y sincronización de los procesos, incluyendo la utilización de la técnica de diseño experimental y estadística.

Otro enfoque identificado está relacionado con el uso del seis sigma como herramienta para apoyar la medición del desempeño de los procesos y relaciones de los actores de la cadena de suministro basado en la utilización de indicadores representados por medio del *Balance Scorecard* combinados con el ciclo DMAIC y el modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*).

Esta orientación puede ser considerada como la base para el desarrollo de proyectos de control y mejoramiento de la cadena de suministro bajo el uso de una metodología sistemática basada en datos y herramientas estadísticas convirtiéndose en un enfoque interesante de investigación.

TABLA 4
Estado del Arte del seis sigma en sistemas logísticos

Autor	Año	Título
Sutherland [44]	2001	<i>Assessment of industrial distribution system reliability using Six Sigma techniques</i>
Aporte/Trabajo futuro		
I. Utilizar el seis sigma para mejorar la calidad de un proceso a través de la reducción de defectos de un sistema de distribución industrial. II. El método utilizado en el artículo consiste en determinar los críticos para la calidad (<i>critical to quality</i>) a partir de los cuales, se utiliza un enfoque sistemático para reducir la variabilidad del proceso que se presenta por medio de una tasa o indicador de falla. III. Se utiliza para el monitoreo y control de las mejoras, proponen la utilización de métodos estadísticos.		
Autor	Año	Título
Wang, Du, y Li [45]	2004	<i>Applying Six-Sigma to Supplier Development</i>
Aporte/Trabajo futuro		
[1] El artículo tiene como objetivo aplicar la metodología del seis sigma para evaluar, mejorar y controlar la calidad para la cadena de suministro realizando énfasis en el desarrollo de proveedores que hace parte del proceso logístico de compras y la utilización de la técnica estadística multivariante de análisis de componentes. Adicionalmente, propone un enfoque metodológico basado en el DMAIC. [2] Cómo trabajos futuros, los autores indican la necesidad del desarrollo de metodologías que integren el seis sigma con la cadena de suministro, con el fin de impactar en la reducción de defectos, costos y satisfacción del cliente basado en el uso de técnicas estadísticas		
Autor	Año	Título
Das[46]	2005	<i>Reduction in delay in procurement of materials using Six Sigma philosophy</i>
Aporte/Trabajo futuro		
I. El artículo presenta una aplicación del seis sigma para reducir las demoras de aprovisionamiento. La metodología desarrollada tenía como principal objetivo medir el nivel de defectos para las actividades del proceso logístico en estudio. Como resultados del uso de seis sigma a través de la metodología DMAIC y críticos para la calidad, permitiendo pasar de 1.8 a 2.4 sigmas reflejando el impacto en el mejoramiento. II. Cómo trabajo futuro los autores sugieren la adopción del seis sigma como filosofía de mejoramiento continuo con impacto en la logística.		

TABLA 4: (Continuación)

Autor	Año	Título
Mukhopadhyay y Ray[47]	2006	<i>Reduction of Yarn Packing Defects Using Six Sigma Methods: A Case Study</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>III. El artículo tiene como objetivo utilizar la metodología del seis sigma para reducir los defectos en el empaque de hilo. Para alcanzar el objetivo, utilizaron el DMAIC, diagrama de Pareto y herramientas estadísticas como: estudios de repetibilidad y reproducibilidad, gráficos de control, índices de capacidad y defectos por unidad.</p> <p>IV. El aporte del artículo es mostrar los beneficios que genera la utilización del seis sigma en procesos logísticos tanto a nivel económico como en la satisfacción de las necesidades de los clientes.</p>		
Autor	Año	Título
Yuan, Yan y Zheng[48]	2007	<i>Research on the Application of Six Sigma Method in Logistics Corporation</i>
Aporte/Trabajo futuro		
<p>El artículo discute la necesidad y viabilidad de la aplicación del seis sigma en la logística empresarial a través de un análisis teórico y estudio de casos. Como conclusión principal, se identifica que el seis sigma es un método científico y de análisis cuantitativo, el cual puede ser considerado clave para los procesos logísticos, la reducción de costos, el aumento de la satisfacción de los clientes y la rentabilidad empresarial.</p>		

Del estado del arte de la utilización del seis sigma en los sistemas logísticos, se identificaron y analizaron cinco artículos científicos. El artículo de Yuan, Yan y Zheng publicado en el 2007[48] puede considerarse como base para desarrollar investigaciones en el tema, ya que discute la necesidad y viabilidad de la utilización del seis sigma en la logística basándose en el uso de un enfoque teórico y estudio de casos de aplicación para demostrar sus beneficios y tendencias.

De otra parte, se revisaron artículos que presentan la metodología y resultados de utilizar seis sigma para mejorar los procesos logísticos de compras, desarrollo de proveedores, empaque y distribución buscando reducir tiempos, costos y aumentar la satisfacción de los clientes[49][50]. Se debe resaltar, que no se identificaron artículos relacionados con el diseño o mejoramiento de la gestión de almacenes y centros de distribución, que es un proceso crítico en los costos y satisfacción de los clientes. Dicha situación puede considerarse como una oportunidad de investigación para fortalecer esta línea.

V. LÍNEAS FUTURAS Y OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN

A partir de la construcción y análisis del estado del arte del uso del seis sigma en la cadena de suministro, se identifican las siguientes líneas futuras y oportunidades de investigación:

- Desarrollar una metodología que oriente el diseño de cadenas de suministro utilizando el modelo DFSS (*Design For Six Sigma*) y la metodología DMADV según su estructura y alcance respecto a procesos, actores y necesidad de sincronización. Adicionalmente, la metodología debería alinearse con el modelo SCOR, incluyendo un enfoque eficiente, el cual se alcanzaría utilizando diferentes tipos de diseño de experimentos y el uso de las métricas comunes del seis sigma como los DPU, índices de capacidad y nivel sigma, entre otros. Adicionalmente, deben facilitar el desarrollo de actividades de colaboración para lograr una mayor competitividad y sinergia entre los actores, incluyendo sincronización de los procesos.
- Complementar las metodologías actuales de seis sigma aplicadas al mejoramiento de la cadena de suministro, ya que las identificadas en la literatura se enfocan en la medición del desempeño de algunos de sus procesos logísticos, sin considerar un enfoque integral y holístico de los actores, procesos, flujo de información y productos. Además, las metodologías existentes no consideran una estrategia de implementación basada en el uso de técnicas como la gestión de procesos combinadas con el DMAIC, modelo SCOR y técnicas estadísticas que faciliten el uso y aumenten el impacto del seis sigma en la satisfacción de los clientes y la reducción de costos.
- Caracterizar el uso de las técnicas de diseño de experimentos y el control estadístico de calidad en la cadena de suministro como estrategia para un diseño o mejoramiento de procesos de manera eficiente, es decir, que cumpla con los objetivos utilizando los recursos de una manera adecuada.
- Elaborar o adaptar una metodología para el diseño o mejoramiento para los procesos logísticos más comunes: aprovisionamiento, gestión de almacenes, transporte, distribución y logística inversa basado en el uso del DMAIC, DMADV, la gestión por procesos y el uso de las técnicas estadísticas de diseño de experimentos y control de calidad buscando alcanzar la eficiencia en cada uno de estos. Respecto al uso de la gestión por procesos esta permitiría establecer un mapa de procesos, caracterizaciones, procedimientos, recursos e indicadores que facilita el desarrollo de un enfoque sistémico y una alineación con la cadena de suministro, en especial con modelos como el SCOR.
- Se debe agregar que el desarrollo de la oportunidad de investigación descrita con anterioridad permite aportar al desarrollo del estado del arte de tema, especialmente en los procesos logísticos de gestión de almacenes y logística inversa, en los cuales no se identificaron propuestas científicas. En el caso de la gestión de almacenes y centros de distribución la utilización del enfoque de seis sigma, no solo generaría impacto en el

proceso logístico sino también en la cadena de suministro debido a su impacto transversal e integral.

- La metodología a desarrollar debería incluir un enfoque de aplicación general, incluyendo etapas que permitan enlazar los niveles estratégicos, tácticos y operativos en los procesos empresariales
- La metodología debería incluir para cada proceso logístico una caracterización del uso de técnicas de diseño de experimentos y control estadístico de calidad, lo cual debe facilitar que su diseño o mejoramiento se realice de una manera eficiente basándose en datos y decisiones cuantitativas buscando la satisfacción del cliente y la reducción de costos. Este enfoque sería innovador e integraría el uso de modelamiento que mejoren las capacidades de diseño o mejoramiento de procesos logísticos.

VI. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del artículo, se identifica que el seis sigma ha sido utilizado en el diseño y mejoramiento de cadenas de suministro y procesos logísticos buscando la disminución de costos y aumento de la satisfacción de los clientes a través de la reducción de la variabilidad de los procesos.

Respecto al uso del seis sigma en la cadena de suministro, se identificaron y revisaron siete artículos publicados entre los años 2000 y 2010. Dos de los artículos se enfocaban en el diseño de la cadena basado en la utilización de la metodología DMADV. Los cinco artículos restantes proponen el mejoramiento de la cadena de suministro basado en la medición del desempeño de algunos de sus procesos logísticos y la utilización de la metodología DMAIC.

En la utilización del seis sigma en los procesos logísticos, se revisaron seis artículos publicados entre los años 2001 y 2007, los cuales buscaban la aplicación de la metodología DMAIC y algunos indicadores como el DPU, DPMO, entre otros en procesos como: aprovisionamiento, distribución y empaque. En la literatura no se identificaron artículos en los procesos logísticos de gestión de almacenes, centros de distribución y logística inversa, los cuales son críticos en la satisfacción del cliente y los costos de operación.

Finalmente, como trabajos futuros se deberían desarrollar metodologías para el diseño y mejoramiento de cadenas de suministro y sistemas logísticos, que no sólo consideren las metodologías tradicionales de DMAIC y DMADV, sino también la gestión procesos, la alineación con el modelo SCOR, incluyendo la caracterización del uso de técnicas de diseño de experimentos y control estadístico de procesos que permita el diseño y mejoramiento eficiente de procesos como base fundamental de la reducción de la variabilidad que afecta directamente el uso de recursos, costos y satisfacción de los clientes.

REFERENCIAS

- [1] R. Caulcutt, "Why is Six Sigma so successful?"; En: *Journal of Applied Statistics*, vol. 28, n° 3, 2001, pp. 301-319.
- [2] J. Freiesleben, "Communicating six sigma's benefits to top management", *Measuring Business Excellence*, vol. 10, n° 2, 2006, pp. 19-27.
- [3] R.McAdam y S.Hazlett, S, "An absorptive capacity interpretation of Six Sigma"; *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 21, n° 5, 2010, pp. 624-645.
- [4] S. Cohen, y J.Rousse, *Strategic supply chain management*. The United States: McGraw-Hill Professional, 2005, p. 128.
- [5] D.Lambert, *Supply chain management*. The United States: Supply Chain Management Inst, 2008, p.156.
- [6] M.Singer, P.Donoso, y G.Konstantinidis, "Who wants to break the hockey-stick sales pattern in the supply chain?", *Annals of Operations Research*, vol. 169, n° 1, 2009, pp. 131-147.
- [7] M. Naganuma, M, T. Sakuma, K. Igarashi y N. Katsube, N. *Supply chain evaluation system, method, and program*. The United States, 2009, p. 12
- [8] E. Frazelle. *World-class warehousing and material handling*. The United States: McGraw-Hill Professional, 2002, p.56.
- [9] J. Metzger. *Supply chain management*. New Delhi: SAGE, 2001, p. 79.
- [10] A.Correa y R.Gómez, R. "Tecnologías de Información en la Cadena de suministro", *Revista DYNA*, Vol 1, n° 57, 2009, pp 37-48.
- [11] P.Toktas-Palut y F. Ülengin, "Coordination in a two-stage capacitated supply chain with multiple suppliers". *European Journal of Operational Research*. Vol 12, n° 1, 2011, pp 43-53.
- [12] M. Bashiri y M.Tabrizi. "Supply chain design: A holistic approach", *Expert Systems with Applications*, vol. 37, n° 1, 2010, pp. 688-693.
- [13] A. gapiou, L. Clausen, R. Flanagan, G. Norman y D. Notman. "The role of logistics in the materials flow control process" *Construction Management and Economics*, vol. 16, n° 2, 1998, pp. 131-142.
- [14] R.Ballou. *Logística*. México: Pearson Educación, 2004, p. 121.
- [15] J. Langford. *Logistics: principles and applications*. The United States: McGraw-Hill Professional, 2006, p. 134.
- [16] *Council of Supply Chain Management Professionals. Supply Chain Management*. The United States: CSCM, 2006, p.15.
- [17] A. R. Hofer y A. M. Knemeyer, "Controlling for logistics complexity: scale development and validation," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 20, n° 2, 2009, pp. 187-200.
- [18] M. Abrahamsson, N.Aldin, y F. Stahre, F. "Logistics platforms for improved strategic flexibility". *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, vol. 6, n° 3, 2003, pp. 85-93.
- [19] S.Friday-Stroud y J. Sutterfield. "A conceptual framework for integrating six-sigma and strategic management methodologies to quantify decision making", *The TQM Magazine*, vol. 19, n° 6, 2007, pp 561-571.
- [20] H. Harrington. *Mejoramiento de los procesos de la empresa*. México: McGraw-Hill, 1995, pp. 23.
- [21] G.Knowles, L.Whicker, J.Femat, y F. Canales. "A conceptual model for the application of Six Sigma methodologies to supply chain improvement", *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, vol. 8, n° 1, 2005, pp. 51.
- [22] E.Jones, E. Parast, E y S. Adams. "Framework for effective Six Sigma implementation". *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 21, n° 4, 2010, pp. 415.
- [23] J.Van Iwaarden, J, T. Van der Wiele, B.Dale, R. Williams y B.Bertsch. "The Six Sigma improvement approach: a transnational comparison", *International Journal of Production Research*, vol. 46, n° 23, 2008, pp. 6739-6746.
- [24] K.Chen, C.Lin y S.Chen. "Applying Six-Sigma methodology in constructing the quick response of a case reporting system"; En: *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 19, n° 4, 2008, pp. 381-392.
- [25] A. Haikonen, T. Savolainen y P. Järvinen. Exploring Six Sigma and CI capability development: preliminary case study findings on management role; En: *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 15, n° 4, 2004, pp. 369-378.
- [26] T. Fontalvo *El método: Enfoque sistémico convergente a la calidad*. Bogotá: ASD 2000, 2010, p.124

- [27] M.Pepper, y T. Spedding,T."The evolution of lean Six Sigma", *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 27, n° 2, 2010, pp. 138-155.
- [28] M. Zeydan, M."A guide to lean six sigma management skills", *International Journal of Production Research*, vol. 48, n° 14, 2010, pp. 4327-4334.
- [29] C. Thevni. "Effective management commitment enhances six sigma success", *Handbook of Business Strategy*, vol. 5, n° 1, 2004, pp. 195-200.
- [30] N. Dedhia,N. "Six sigma basics", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 16, n° 5, 2005, pp. 567-577.
- [31] V.Shanmugam. "Six Sigma Cup: Establishing Ground Rules for Successful Six Sigma Deployment", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 18, n° 1, 2007, pp 77-84.
- [32] X, Zou y W, Lee,W. "A study of knowledge flow in Six Sigma teams in a Chinese manufacturing enterprise", *VINE*, vol. 40, n° 3, 2010, pp 390-403.
- [33] P. Miguel y J. Andrietta, J. "Benchmarking Six Sigma application in Brazil: Best practices in the use of the methodology". *Benchmarking: An International Journal*, vol. 16, n° 1, 2009, pp. 124- 134.
- [34] Y.Park, H.Choi y J. Baik. " A Framework for the Use of Six Sigma Tools in PSP/TSP," in *Software Engineering Research*,. *Management & Applications, 2007. SERA 2007.5th ACIS International Conference on, 2007*, pp 807-814.
- [35] J.Ravichandran. "Six-Sigma Milestone: An Overall Sigma Level of an Organization", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 17, n° 8, 2006, pp 973-983.
- [36] J. De Feo,J y Z. Bar-El. "Creating strategic change more efficiently with a new Design for Six Sigma process," *Journal of Change Management*, vol. 3, 2001, n° 1, pp 60-80.
- [37] Y.Narahari, N.Viswanadham, y R.Bhattacharya, "Design of synchronized supply chains: a six sigma tolerancing approach," in *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. 2000*, pp. 1151-1156.
- [38] D.Garg, Y. Narahari y N. Viswanadham, "Design of six sigma supply chains", in *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA '03 conf. 2003*, pp. 1737-1742.
- [39] T. Dasgupta, "Using the six-sigma metric to measure and improve the performance of a supply chain," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 14, n° 3, 2003, pp. 355.
- [40] G.Knowles, L.Whicker, H.Femat, y F. Canales,"A conceptual model for the application of Six Sigma methodologies to supply chain improvement"; *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, vol. 8, n° 1, 2005, pp 51-67.
- [41] J. Xu,J. "Six Sigma-Based Methodology for Performance Measurement of a Supply Chain," *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2008. WiCOM '08. 4th International Conf, 2008*, pp 1-4
- [42] Z. Zhang, X.Yan, y Z.Xuan.(2010) "Research on the application of Six-Sigma's method to Supply Chain Management," in *Automation and Logistics (ICAL)*, 2010 conf, pp. 76-81
- [43] S.Kuik, S.Nagalingam,Y.Amer, y Y.Saw. "Implementation of Six Sigma methodology to improve supply chain network in the context of Malaysian manufacturing industries", *Supply Chain Management and Information Systems (SCMIS)*, 2010. pp. 1-8.
- [44] P. Sutherland. "Assessment of industrial distribution system reliability using Six Sigma techniques", *In 2000 Industrial and Commercial Power Systems Technical Conf.*, 2000, pp. 67-74.
- [45] F. Wang,F, T. Du y E. Li." Applying Six-Sigma to Supplier Development", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 15, n° 9, 2004, pp 1217-1225.
- [46] P. Das. "Reduction in delay in procurement of materials using Six Sigma philosophy", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 16, n° 5, 2005, pp 645-653.
- [47] A.Mukhopadhyay y S. Ray. "Reduction of Yarn Packing Defects Using Six Sigma Methods: A Case Study". *Quality Engineering*, vol. 18, n° 2, 2006, pp 189-198.
- [48] Z. Yuan, X. Yan y W. Zhen "Research on the Application of Six Sigma Method in Logistic Corporation"; *Automation and Logistics*, 2007, pp 890-893.
- [49] M. Chen y J. Lyu. "A Lean Six-Sigma approach to touch panel quality

improvement",*Production Planning & Control: The Management of Operations*, vol 20, n° 5, 2009, pp 445-453

- [50] T. Allen.*Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma*, London, Springer, 2010, p.156.

Rodrigo Andrés Gómez Montoya, es miembro del grupo de investigación Gestiafro de Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Es Ingeniero Industrial y MSc en Ingeniería Administrativa de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es profesor del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Email: ragoomez@politecnicojic.edu.co.

Pedro Daniel Medina Varela, es miembro del grupo de investigación en Manufactura Flexible de la Universidad Tecnológica de Pereira. Es ingeniero Mecánico de la Universidad del Valle y MSc en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Actualmente es Profesor Asistente de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira. Email: pemedin@utp.edu.co.



Alexander Alberto Correa Espinal, es Director del grupo de investigación GIMGO de la Universidad Nacional de Colombia. Es Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, MSc en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes y Ph.D. en Estadística e Investigación operativa de la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente es profesor de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Email: alcorrea@unal.edu.co.