

**Instituto Tecnológico y de Estudios  
Superiores de Monterrey**

CAMPUS MONTERREY

**División de Ingeniería y Arquitectura**

PROGRAMA DE GRUADADOS EN INGENIERIA



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®**

**Lean Six sigma Logistics: Modelo de desarrollo**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADEMICO DE:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

POR:

**OLGA LUCÍA MANTILLA CELIS**

Monterrey, Nuevo León, México. Mayo 2009

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de  
Monterrey**

**División de Ingeniería y Arquitectura**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por la Ing. Olga Lucía Mantilla Celis, sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas de Manufactura**

Comité de Tesis:

---

Dr. José Manuel Sánchez García  
Asesor

---

Dr. Horacio Ahuett Garza  
Sinodal

---

Ing. Luis Vicente Cabeza Aspiazu  
Sinodal

Aprobado:

---

Dr. Joaquín Acevedo Mascarúa  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería  
Mayo, 2009

---

---

# Dedicatoria

---

*A Dios por guiar mi vida.*

*A mis padres Adolfo y*

*Mary y hermanos,*

*Marcela y Camilo, por*

*apoyarme y*

*acompañarme en todas*

*mis decisiones.*

*A mis amigos de*

*Colombia y México por su*

*apoyo y buenos deseos.*

---

---

# Agradecimientos

---

A mi asesor el Dr. José Manuel Sánchez García por la confianza que depositó en mí, por el apoyo y la orientación en la realización de este trabajo.

A mis sinodales el Dr. Horacio Ahuett Garza y el Ing. Luis Vicente Cabeza Aspiazu por su apoyo, comentarios y aportaciones sobre el trabajo.

A el coordinador de la Maestría, Dr. Ciro Rodríguez por su apoyo y orientación durante la realización de mis estudios de maestría.

Al fondo de investigación de Magna Powertrain por su apoyo económico al trabajo y por la oportunidad de participar de su proyecto Reverse Logistics. También a todas las personas de la compañía que me apoyaron en la búsqueda de información.

---

---

# Tabla de Contenido

---

<b>Capítulo 1 Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1. Definición del Problema .....	5
1.2. Objetivo de la Investigación.....	9
1.3. Alcance de la investigación .....	10
1.4. Beneficios Potenciales .....	10
<b>Capítulo 2 Marco Teórico .....</b>	<b>11</b>
2.1. Cadena de Suministro y Logística.....	11
2.1.1.Operación y medidas de desempeño .....	12
2.1.2.Elementos clave de conformación estructural.....	16
2.2. Funciones clave en la administración logística y de la Cadena de Suministro .....	17
2.2.1.Diseño de la red .....	17
2.2.2.Transporte.....	19
2.2.3.Administración de la oferta y la demanda.....	21
2.2.4.Administración de Inventarios.....	23
2.2.5.Sistemas de información .....	26
2.3. Logística Esbelta .....	30
2.3.1.Definición, usos y beneficios.....	30
2.3.2.Conceptos y herramientas claves.....	32
2.4. Six sigma .....	33
2.4.1.Definición, estructura y modo de operación .....	33
2.4.2.Herramientas de desarrollo .....	35
2.5. Lean y six sigma.....	38
2.5.1.Definición .....	38
2.5.2.Análisis y evaluación de un sistema logístico.....	40

<b>Capítulo 3 Modelo Lean Six Sigma Logistics .....</b>	<b>41</b>
3.1. Introducción.....	41
3.2. Pilares del modelo.....	41
3.3. Fases de la metodología del modelo .....	47
3.3.1. Fase de definición .....	48
3.3.2. Fase de medición.....	57
3.3.3. Fase de análisis.....	68
3.3.4. Fase de mejoramiento.....	74
3.3.5. Fase de control .....	87
<b>Capítulo 4 Caso de estudio.....</b>	<b>90</b>
4.1. Desarrollo del caso de estudio .....	90
4.2. Conclusiones del caso de estudio.....	113
<b>Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>116</b>
<b>Capítulo 6 Anexos.....</b>	<b>118</b>
<b>Bibliografía</b>	

---

---

## Lista de Figuras

---

Figura 1. Costos logísticos como porcentaje del PIB, 2006. (4).....	6
Figura 2. Indicadores de desempeño de México, 2006. (4).....	6
Figura 3. Distribución del costo logístico en México y E.U., 2006. (4).....	7
Figura 4. Movimiento de carga por tipo de transporte (4) .....	7
Figura 5. Porcentaje de entregas completas y a tiempo (5) .....	8
Figura 6. Problemas en el proceso logístico de la cadena de suministro .....	8
Figura 7. Los ocho deberes Logísticos .....	12
Figura 8. Evolución de la logística a la cadena de suministros (6).....	13
Figura 9. Historia de Lean y six sigma (14) .....	38
Figura 10. Modelo de Puente (13) .....	40
Figura 11. Modelo Lean six sigma Logistics - LSSL .....	42
Figura 12. Mapa conceptual de desarrollo de objetivos de acuerdo al modelo LSSL .....	43
Figura 13. Fases, herramientas y objetivos de la metodología DMAIC .....	47
Figura 14. Representación de la etapa de definición de oportunidades .....	49
Figura 15. Representación de la etapa de definición de recursos .....	54
Figura 16. Representación de la etapa de selección del proyecto y desarrollo de la propuesta .....	56
Figura 17. Representación de la etapa de visión general del sistema logístico.....	58
Figura 18. Indicadores propuestos en cada nivel de análisis.....	60
Figura 19. Etapa de determinación del enfoque y recolección de información .....	64
Figura 20. Etapa de detección de causas de variabilidad y defectos .....	68
Figura 21. Etapa de generación de propuestas de mejoramiento.....	76
Figura 22. Etapa de generación del plan de acción .....	86
Figura 23. Etapa de generación del plan de acción .....	87
Figura 24. Value stream mapping de alto nivel de Axle corp.....	95
Figura 25. Información financiera de Axle corp. ....	95
Figura 26. Diagrama SIPOC de Axle corp. ....	99
Figura 27. Diagrama pareto de las causas de incremento en el costo de transporte.....	100
Figura 28. VSM de la cadena de suministro de Axle corp .....	104
Figura 29. Gráfico de control del tiempo promedio de movimiento de la bodega a la línea .....	106
Figura 30. Diagrama causa – efecto para el problema de alto costo de inventario de Axle corp.....	108
Figura 31. Proceso recomendado para mejorar la administración de inventarios de Axle corp .....	110

---

---

## Lista de tablas

---

Tabla 1. Tipo de decisiones en la cadena de suministro por niveles de planeación .....	13
Tabla 2. Indicadores logísticos en abastecimiento (8) .....	14
Tabla 3. Indicadores logísticos en inventarios (8) .....	14
Tabla 4. Indicadores logísticos en almacenamiento (8).....	15
Tabla 5. Indicadores logísticos en transporte (8).....	15
Tabla 6. Indicadores logísticos en servicio al cliente (8) .....	15
Tabla 7. Indicadores logísticos financieros (8).....	15
Tabla 8. Comparación de los sistemas de inventario .....	25
Tabla 9. Fallas de Lean y Six sigma .....	39
Tabla 10. Enfoques de Lean y Six sigma .....	39
Tabla 11. Herramientas en la fase de definición .....	48
Tabla 12. Matriz multicriterio.....	56
Tabla 13. Herramientas en fase de Medición .....	58
Tabla 14. Aplicaciones de los gráficos de control en logística (19).....	67
Tabla 15. Herramientas en la fase de análisis .....	69
Tabla 16. Herramientas en la fase de mejoramiento .....	75
Tabla 17. Estrategias de eliminación de inventarios .....	84
Tabla 18. Herramientas en la fase de control.....	87
Tabla 19. Indicadores iniciales de Axle corp.....	96
Tabla 20. Causas de incremento del costo de transporte de Axle corp.....	96
Tabla 21. Defectos y oportunidades de defecto de Axle corp.....	96
Tabla 22. Matriz XY de las cuatro alternativas de proyectos en Axle corp.....	101
Tabla 23. Estimaciones económicas para las 3 alternativas potenciales de proyecto .....	101
Tabla 24. Valor presente neto de las 3 alternativas potenciales de proyecto..	102
Tabla 25. Project charter del proyecto de administración de inventarios en Axle corp.....	102
Tabla 26. Indicadores de administración de inventarios de Axle corp .....	103
Tabla 27. Cálculo de DPMO en Axle corp.....	103
Tabla 28. FMEA de la administración logística de Axle corp .....	121



## Introducción

---

El origen de la administración de la Cadena de Suministro (SCM de sus siglas en inglés) se remonta a principios de los años 50 en Japón, donde la industria automotriz fue pionera con Toyota. La SCM surge de la necesidad de reducir los tiempos de entrega y uno de sus principales retos es la coordinación y sincronización entre los diferentes eslabones de la cadena.

La administración de la Cadena de Suministro bajo un enfoque amplio se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo (1).

Similarmente, Logística es la parte de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de lograr la satisfacción de los clientes (2).

Varios estudios han demostrado que las actividades de manufactura conforman una tercera parte del tiempo productivo de la cadena de suministro y el resto del tiempo se emplea en procesamiento de órdenes, ingeniería, compras, instalación y esperas. Stalk and Hout plantean que la porción de tiempo en la que realmente se agrega valor está entre 0.05%-5% del tiempo de entrega (3). Debido a este desconocimiento del potencial de mejora en actividades diferentes a las productivas, se han generado a través de los años metodologías como JIT (Justo a tiempo), TPS (Sistema de producción Toyota), TQM (Administración total de la calidad), Lean manufacturing (Manufactura esbelta) y Six sigma (Seis sigma) enfocadas básicamente en la manufactura, sin embargo es necesario pensar cómo mejorar las otras dos terceras partes de la cadena.

“Lean manufacturing” es una filosofía de producción que tuvo sus orígenes en Japón con el sistema de producción Toyota y se fundamenta en una filosofía de eliminación de todo aquello que no agrega valor. Los objetivos principales son la eliminación del desperdicio e incremento de la velocidad de flujo haciendo uso de diversas herramientas.

“Six sigma” es una metodología de mejoramiento desarrollada por Motorola en los años 80’s, cuyo principio fundamental es el enfoque al cliente. Propone un manejo eficiente de los datos para brindar un mejor producto y/o servicio a través de la reducción de la variabilidad de los procesos y defectos.

Agrupando las ideas expuestas anteriormente, se encuentra que debido a la necesidad de agregar mayor valor en las actividades logísticas en la cadena de suministros es conveniente fusionar la filosofía esbelta y seis sigma. El propósito es hacer más rápidas las operaciones logísticas, reducir su variabilidad y agregar mayor valor sin perder de vista al cliente, garantizando un mejor servicio al mismo y también menores costos para la compañía.

En el presente documento se describe un modelo de desarrollo estratégico en logística (LSSL- Lean Six sigma Logistics) utilizando las herramientas y principios de “Lean Manufacturing” y “Six sigma”, con el fin de orientar a las empresas en la definición e implementación de proyectos logísticos que les permita agregar mayor valor para los accionistas, socios del negocio y clientes.

### **1.1. Definición del Problema**

Bajo el entorno competitivo y globalizado actual donde las materias primas están en un lugar del mundo, las plantas de producción en otro y los consumidores en otro, hacen de la logística un área de gran oportunidad en las empresas para mejorar su desempeño en operaciones como inventarios, transporte, almacenamiento y manejo de información, entre otros.

Para dar una mayor idea de la logística en México, se han encontrado algunos indicadores importantes que definen el desempeño logístico del país con respecto a otras naciones. Estos indicadores fueron realizados por el Banco Mundial en el año 2007.

En México los costos logísticos como porcentaje del PIB para el año 2006 fueron de 13.5% (CSCMP México) como se observa en la Figura 1 y el desempeño logístico es de 2.87 respecto a 5 puntos tomados como el óptimo (Figura 2), con lo cual, el país ocupa el lugar 56 de 150 países ubicándose por debajo de países de América del Sur como Chile-32, Argentina-45 y Panamá-54 (4). Entre los factores externos que determinan el desempeño logístico se encuentran la calidad de la infraestructura, el entorno de los negocios, la política pública en logística, la regulación internacional y la fiabilidad del sistema comercial y la cadena de suministro.



Figura 1. Costos logísticos como porcentaje del PIB, 2006. (4)

En el caso de los costos logísticos donde se observa para México una posición de 101/150 en el ranking de desempeño logístico mundial, se tiene que éste rubro fue de \$115 billones de dólares para el año 2006 (4), donde el 75% de su valor corresponde a transporte y almacenamiento, comparado con un 68% en países como E.U (Figura 3) cuyo costo logístico fue de \$1235 billones de dólares para el mismo año. Por ende, se encuentra que en la gestión de transporte y almacenamiento hay áreas de oportunidad para las empresas Mexicanas.

	LUGAR/150	PUNTAJE/5
Aduanas	60	2,5
Infraestructura	53	2,68
Embarques Internacionales	53	2,91
Competencia Logística	57	2,8
Trazabilidad y Seguimiento	48	2,96
Costos Logísticos	101	2,79
Tiempos	51	3,4

Figura 2. Indicadores de desempeño de México, 2006. (4)



Figura 3. Distribución del costo logístico en México y E.U., 2006. (4)

Analizando el caso del transporte se encuentra que México posee bajo uso de el sistema ferroviario (Figura 4), que es el más barato en materia logística.



Figura 4. Movimiento de carga por tipo de transporte (4)

Para el análisis de indicadores de cumplimiento no se han encontrado cifras recientes, pero de acuerdo con un estudio realizado en 2003 por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey se obtiene como resultado, para el atributo de servicio de distribución, que del total de empresas investigadas al menos un 90% de sus órdenes son entregadas completas en la fecha prometida, con la composición correcta, calidad y cantidad (5).

Del mismo modo, AT Kearney confirma la cifra obtenida por el ITESM en una encuesta realizada en 2002 a empresas mexicanas, de la cual se obtiene que el porcentaje de entregas a tiempo en México corresponde al 88%, mientras que en el caso de Europa y Estados Unidos el promedio es 98 y 97%, respectivamente. En lo que se refiere al porcentaje de entregas completas, el promedio de éstos últimos es 97%, aunque en el caso de México apenas llega a 89%. En lo que se refiere a las entregas correctas, el resultado de la encuesta entre empresas mexicanas registra 94%, cifra inferior al 98% promedio registrado en Estados Unidos y Europa (Figura 5. Porcentaje de entregas completas y a tiempo) (5).

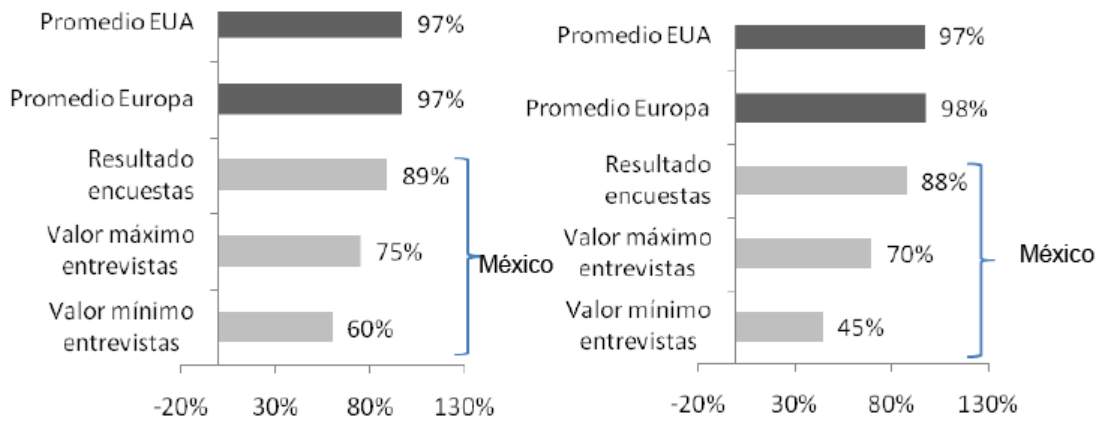


Figura 5. Porcentaje de entregas completas y a tiempo (5)

De acuerdo a los datos estadísticos presentados se encuentra que las empresas mexicanas tienen grandes oportunidades de mejoramiento para satisfacer a los clientes y reducir los costos logísticos, sin embargo, para ello deben enfrentar internamente algunos problemas como (Figura 6): Falta de conocimiento de las necesidades del cliente, errores en la realización y transferencia de pedidos, cambios en los pedidos, falta de disponibilidad y velocidad por parte de los proveedores para responder a necesidades de la empresa, falta de sincronización en los procesos de ensamble y empaque, variabilidad en los tiempos e inventario en diversos puntos para atender estas situaciones.

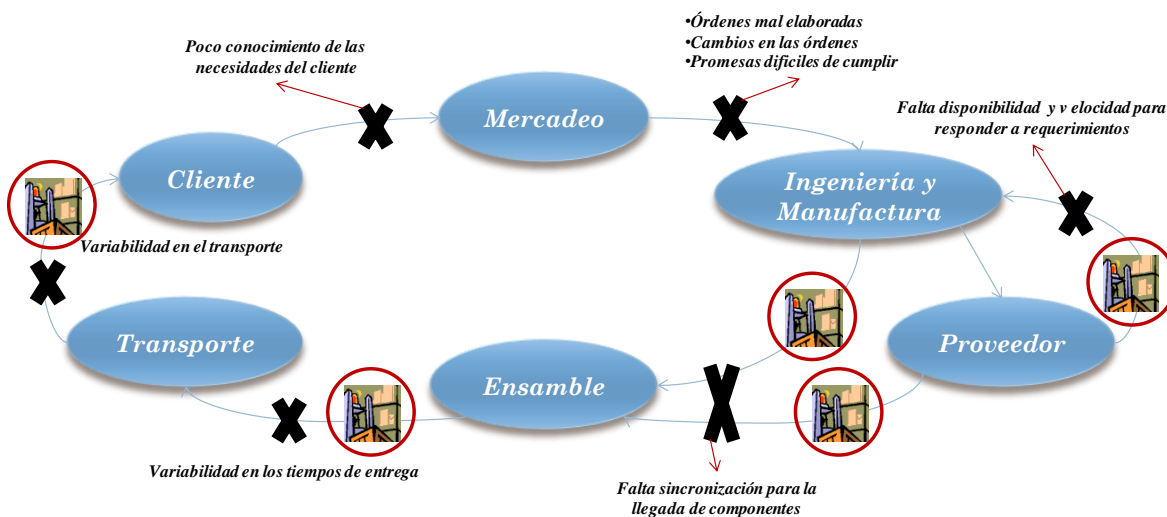


Figura 6. Problemas en el proceso logístico de la cadena de suministro

Para afrontar y solucionar los problemas presentados en la Figura 6 se debe lograr lo siguiente:

- Conocer las necesidades de los clientes
- Lograr una mayor coordinación y comunicación entre las diferentes áreas de la empresa
- Aumentar la eficiencia de los recursos y de las operaciones
- Reducir la variabilidad y errores en las operaciones
- Mejorar la relación con los clientes y proveedores
- Capacitar al personal

Para que se den estos logros, la aplicación del modelo propuesto - LSSL es conveniente porque se enfoca en el cliente, busca eliminar los desperdicios y variabilidad en las operaciones a la vez que se agrega mayor valor en las mismas, además requiere de personal informado y capacitado y un buen conocimiento y comunicación de los integrantes de la cadena.

## **1.2. Objetivo de la Investigación**

Desarrollar y documentar un modelo de desarrollo que oriente a las empresas en el análisis, diseño ó rediseño de sus operaciones logísticas, mediante la aplicación de los principios y herramientas de “Lean Manufacturing” y “Six sigma”.

Con la aplicación del modelo LSSL se busca que las empresas manufactureras y de servicios logísticos mejoren su nivel de servicio y reduzcan los costos logísticos a través del logro de cuatro objetivos principales que son:

- Eliminar el desperdicio en todos los flujos y operaciones
- Reducir el Lead time del proceso
- Conocer las fuentes de variabilidad del sistema y eliminarlas o mitigar su efecto

- Agregar valor en las operaciones logísticas de la cadena de suministro

### **1.3. Alcance de la investigación**

La investigación se limita al desarrollo y documentación de un modelo (LSSL) que apoya el proceso de definición y desarrollo de proyectos logísticos en una empresa, utilizando los principios y herramientas de Lean Manufacturing y six sigma. También se presenta un caso de estudio teórico-práctico, real-ficticio en la industria automotriz, donde se aplica el modelo LSSL y su estructura está basada en los casos tipo Harvard.

La parte práctica del caso de estudio corresponde al levantamiento de información en una empresa del sector automotriz, donde los datos que se presentan son representativos de la situación real. La parte teórica se da en las etapas de implementación y control donde se desarrollan las propuestas para la empresa.

### **1.4. Beneficios Potenciales**

La documentación del presente proyecto permite:

- Definir los principios y herramientas de “lean manufacturing” y “six sigma” que se consideran de mayor aporte para la definición y el desarrollo de proyectos logísticos en empresas industriales y de servicios logísticos.
- Resaltar la importancia y beneficios de la integración de “Lean manufacturing” y “Six sigma” para logística.
- Presentar a través del caso de estudio la forma de aplicación del modelo propuesto y de algunas de las herramientas seleccionadas.
- Motivar proyectos futuros de aplicación del modelo, y desarrollo de investigación en temas como “Lean manufacturing” y “Six sigma” para diversas aplicaciones.

## Marco Teórico

---

A continuación se detallan los conceptos referidos a logística, la cadena de suministro, logística esbelta, seis sigma y “lean six sigma”.

De la cadena de suministros el enfoque se dará en las actividades logísticas y dentro de éstas se mencionará con mayor detalle lo relacionado a transporte e inventarios. Como conceptos relevantes de la cadena de suministro se menciona la administración de la oferta y la demanda y los sistemas de información.

En los temas de logística esbelta, seis sigma y “lean six sigma” se presentan sus definiciones y se resaltan sus usos y beneficios.

### 2.1. Cadena de Suministro y Logística

La administración de la Cadena de Suministro bajo un enfoque amplio se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo (1). La cadena de suministros abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes desde la etapa de materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados (6).

La administración logística es el proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos del cliente. Incluye actividades de administración de transporte inbound y outbound, administración de fletes, almacenamiento, manejo de materiales,



recepción de pedidos, diseño de la red logística, administración de inventario, planeación de demanda y suministro y administración de proveedores logísticos. En otro nivel también incluye abastecimiento, planeación y programación de producción, empaque y ensamble y servicio al cliente. La administración logística es una función donde se coordina y optimizan todas las actividades logística, y de igual forma integra la logística con otras funciones como mercadeo, ventas, manufactura, finanzas y tecnologías de información (2).

Logísticamente la satisfacción de los clientes está dada por el cumplimiento al momento de la entrega de los ocho deberes logísticos (Figura 7) como son: Entregar la parte correcta, en la cantidad correcta, en el tiempo y lugar correcto, con la calidad correcta, con un precio y servicio correcto, provenientes de la fuente correcta. (7).

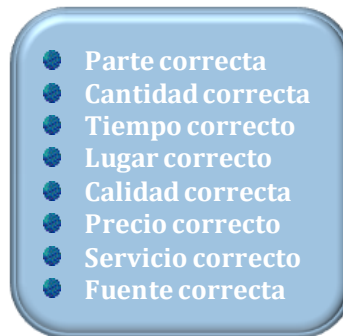


Figura 7. Los ocho deberes Logísticos

### 2.1.1. Operación y medidas de desempeño

#### Operación

La operación logística y de la cadena de suministros está conformada por diversas actividades como se presentan en la Figura 8, y para su planeación se encuentran tres niveles: estratégico, táctico y operativo, donde el éxito de su ejecución se encuentra en la alineación de los objetivos y estrategias entre los tres niveles.

Algunas de las decisiones o acciones que se pueden realizar en la cadena de suministros de acuerdo al nivel de planeación y área de decisión se presentan en la tabla 1.

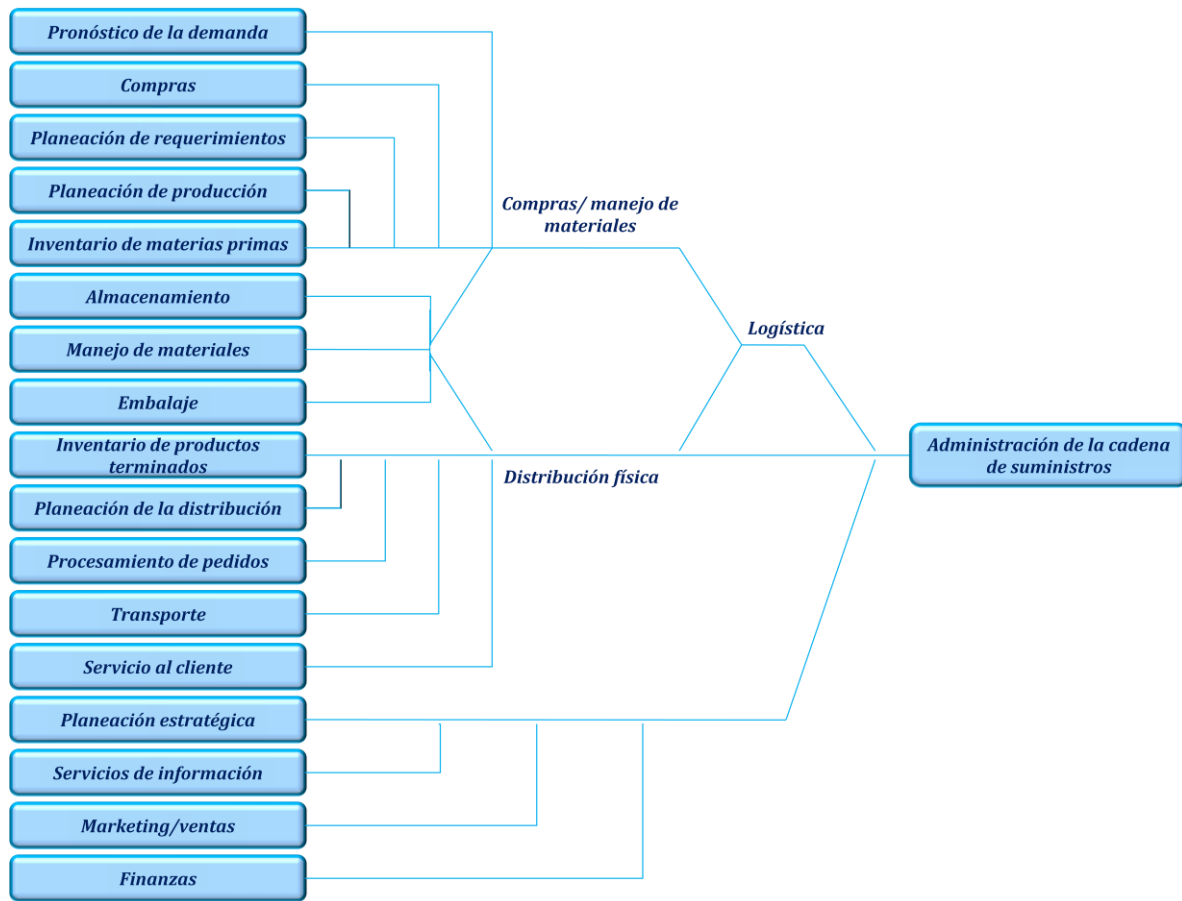


Figura 8. Evolución de la logística a la cadena de suministros (6)

Tabla 1. Tipo de decisiones en la cadena de suministro por niveles de planeación

Área de decisión	Estratégica	Táctica	Operativa
<b>Producción</b>	Planeación del proceso y planeación estratégica de la capacidad	Programa maestro de producción, MRP, planeación agregada	Programación de pedidos
<b>Ubicación de instalaciones</b>	Número, tamaño y ubicación de plantas, CEDIs y almacenes		
<b>Inventarios</b>	Ubicación y políticas de control de inventarios	Inventario de seguridad	Cantidades y tiempo de reabastecimiento
<b>Transporte</b>	Selección del modo	Arrendamiento o compra de equipo	Asignación de rutas y despachos
<b>Procesamiento de pedidos</b>	Diseño del sistema de procesamiento de pedidos		Procesamiento de pedidos
<b>Servicio al cliente</b>	Establecimiento de estándares	Reglas de prioridad para pedidos de clientes	Entregas a tiempo
<b>Almacenamiento</b>	Selección de equipo de manejo y diseño de la distribución	Opciones de espacio estacional y utilización de espacio privado	Selección de pedidos y reaprovisionamiento
<b>Compras</b>	Desarrollo de relaciones con proveedores	Contratación, selección de vendedor, compras adelantadas	Liberación de pedidos y cumplimiento en suministros

## Medidas de desempeño

De forma general, los indicadores de gestión son un sistema de información estadística, financiera, administrativa y operativa al servicio de la dirección de una compañía, que le permiten tomar decisiones acertadas, oportunas y adoptar las medidas necesarias para dar seguimiento y control a los procesos principales o críticos (8).

Para el caso logístico se presentan en las Tablas 2 a la 5 algunos indicadores básicos que permiten medir la operación logística en actividades de abastecimiento, transporte, inventarios y almacenamiento. También se presentan indicadores para medir los resultados obtenidos de la operación logística en servicio e impacto financiero (Tablas 6 y 7).

Los indicadores logísticos recomendados a nivel general se presentan a continuación en las Tablas 2 a 7.

Tabla 2. Indicadores logísticos en abastecimiento (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Calidad de los pedidos generados</b>	$\frac{\text{Pedidos generados sin problemas}}{\text{Total de pedidos generados}}$	La mala calidad en los pedidos genera costos como: realización de pedidos rectificadores, pérdida de ventas, insatisfacción en los clientes, entre otros.
<b>Entregas Recibidas perfectas</b>	$\frac{\text{Pedidos aceptados perfectos}}{\text{Total de Órdenes de Compra}}$	Recibir pedidos sin cumplir las especificaciones de calidad y servicio, genera costos como: de retorno, volver a pedir, retrasos en la producción, inspecciones adicionales etc.
<b>Cumplimiento de Proveedores</b>	$\frac{\text{Pedidos Recibidos a Tiempo}}{\text{Total Pedidos Recibidos}}$	Aceptación ó búsqueda de otros proveedores que mantengan un mejor nivel de servicio.

Tabla 3. Indicadores logísticos en inventarios (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Índice de Rotación de Mercancías</b>	$\frac{\text{Ventas Acumuladas}}{\text{Inventario Promedio}}$	Las políticas de inventario, en general, deben mantener un elevado índice de rotación para evitar los altos costos por pérdidas por daño u obsolescencia.
<b>Exactitud del Inventario</b>	$\frac{\text{Valor Diferencia (\$)}}{\text{Valor Total de Inventarios}}$	Permite detectar errores en la gestión de inventarios y/o faltantes o sobrantes. Se toma la diferencia en costos del inventario teórico versus el físico inventariado. También puede realizarse este análisis en unidades.

Tabla 4. Indicadores logísticos en almacenamiento (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Costo de Almacenamiento por Unidad</b>	$\frac{\text{Costo de almacenamiento}}{\text{Número de unidades almacenadas}}$	Sirve para comparar el costo por unidad almacenada y así decidir si es más rentable subcontratar el servicio de almacenamiento o tenerlo propiamente.
<b>Costo por Unidad Despachada</b>	$\frac{\text{Costo Total Operativo Bodega}}{\text{Unidades Despachadas}}$	Sirve para costear el porcentaje del costo de manipular una unidad de carga en la bodega o centro distribución.
<b>Nivel de Cumplimiento Del Despacho</b>	$\frac{\text{Número de despachos cumplidos}}{\text{Número total de despachos requeridos}}$	Sirve para medir el nivel de cumplimiento de los pedidos solicitados al centro de distribución y conocer el nivel de agotados que maneja la bodega.

Tabla 5. Indicadores logísticos en transporte (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Comparativo del Transporte propio y subcontratado</b>	$\frac{\text{Costo Transporte propio por und.}}{\text{Costo decontratar transporte por unidad.}}$	Sirve para tomar la decisión acerca de contratar el transporte de mercancías o asumir la distribución directa del mismo.
<b>Utilización de vehículos</b>	$\frac{\text{Capacidad Real Utilizada}}{\text{Capacidad Real Camión (kg, mt3)}}$	Mide el nivel de utilización real de los camiones para determinar la necesidad de optimizar la capacidad instalada y/o evaluar la necesidad de contratar transporte.

Tabla 6. Indicadores logísticos en servicio al cliente (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Nivel de cumplimiento al cliente</b>	$\frac{\# \text{ de pedidos entregados a tiempo}}{\text{Total de Pedidos Despachados}}$	Sirve para controlar los errores que se presentan en la empresa y que no permiten entregar a tiempo los pedidos a los clientes.
<b>Calidad de la Facturación</b>	$\frac{\text{Facturas Emitidas con Errores}}{\text{Total de Facturas Emitidas}}$	Generación de retrasos en los cobros, e imagen de mal servicio al cliente, con la consiguiente pérdida de ventas.

Tabla 7. Indicadores logísticos financieros (8)

INDICADOR	CÁLCULO	IMPACTO
<b>Costos Logísticos</b>	$\frac{\text{Costos Totales Logísticos}}{\text{Ventas Totales de la Compañía}}$	Sirve para el control del costo logístico.
<b>Margen de Contribución</b>	$\frac{\text{Venta Real Producto}}{\text{Costo Real Directo Producto}}$	Útil para medir el nivel de rentabilidad y así tomar correctivos a tiempo sobre el comportamiento de cada referencia y su impacto financiero en la empresa.
<b>Ventas Perdidas</b>	$\frac{\text{Valor Pedidos no Entregados}}{\text{Total Ventas Compañía}}$	Se controlan las ventas perdidas por la compañía al no entregar oportunamente a los clientes los pedidos generados.

Los indicadores logísticos deben diseñarse con el fin de medir el desempeño de las operaciones, especialmente en aquellas actividades claves o de apoyo que se consideren críticas dentro de la empresa.

### **2.1.2. Elementos clave de conformación estructural**

Los componentes típicos de un sistema logístico son: servicio al cliente, pronósticos de demanda, distribución, transporte, inventarios, manejo de materiales, procesamiento de pedidos, selección y ubicación de fábricas y almacenamiento, compras y embalaje entre los principales.

Estos componentes se pueden organizar de acuerdo a su importancia en: Actividades clave y actividades de apoyo (6).

#### **Actividades clave**

- *Estándares de servicio al cliente:* Cooperan con marketing para determinar las necesidades y requerimientos del cliente, la respuesta del cliente al servicio y los niveles de servicio deseados.
- *Transporte:* Selección del modo y servicio de transporte, rutas del transportador, programación de vehículos, selección de equipo, fletes, procesamiento de quejas, entre otras.
- *Manejo de inventarios:* Políticas de almacenamiento de materias primas, producto en proceso y bienes terminados; número, tamaño y localización de puntos de almacenamiento; estrategias de sistema pull.
- *Flujo de información y procesamiento de pedidos:* Métodos de transmisión de información, reglas del pedido y procedimientos.

#### **Actividades de apoyo**

- *Almacén:* Configuración de almacén, colocación de existencias, determinación de espacios.

- *Manejo de materiales:* Selección de equipo, políticas de reemplazo de equipos, almacenamiento y recuperación de existencias.
- *Compras:* Selección de fuentes de suministro, momento de compra, cantidades a comprar.
- *Embalaje:* embalajes diseñados para manejo, almacenamiento y protección de productos.
- *Cooperación con producción y operaciones:* Secuencia y rendimiento del tiempo de producción, programación de suministros para producción y operaciones, calidad.
- *Mantenimiento de información:* Recopilación, almacenamiento y manipulación de la información, análisis de datos, procedimientos de control.

Todas estas actividades mencionadas se desarrollan dentro de alguna función clave de la administración logística, como las que se presentan a continuación en el numeral 2.2.

## **2.2. Funciones clave en la administración logística y de la Cadena de Suministro**

La función logística desarrolla sus principales decisiones en tres funciones: Transporte, diseño de la red e inventarios. La cadena de suministros para apoyar a estas funciones se apoya de otras como son la administración de la oferta y la demanda y los sistemas de información.

### **2.2.1. Diseño de la red**

El diseño de la red de distribución corresponde a la especificación de la estructura a través de la cual fluyen los productos desde su punto de origen hacia los puntos de destino y viceversa. El diseño de la red logística implica la determinación del tipo de instalaciones que se utilizarán, número de instalaciones y su ubicación; de igual forma los productos y clientes asignados a cada una de ellas y los servicios de transporte utilizados entre ellas.

En la red de distribución encontramos dos aspectos importantes, el aspecto espacial o geográfico y el aspecto temporal.

El aspecto espacial de la red corresponde a la ubicación geográfica de la instalación sobre un plano (planta, almacén, cedi, etc). El número, tamaño y ubicación de las instalaciones se determinan mediante el balance de: costos de producción y compras, costos de manejo de inventario, costos de la instalación y costos de transportación.

El aspecto temporal o de tiempo, consiste en mantener la disponibilidad del producto para cumplir con los objetivos de servicio al cliente. Aquí se vuelven relevantes el balance de los costos de capital, los costos de procesamiento de pedidos y los costos de transporte. Las decisiones con base en el aspecto temporal también juegan un rol importante en la ubicación de instalaciones.

Los datos que se consideran relevantes para la planeación de la red son:

- Ubicación de los clientes, puntos de almacenamiento y puntos de suministro
- Demanda de cada producto por ubicación de clientes
- Tiempos de tránsito, tiempos de transmisión de pedidos y ritmos de surtido de pedidos
- Infraestructura
- Análisis de la mano de obra (calidad, costo, acceso, entre otras)
- Costos de producción, compras, almacenamiento, transporte y procesamiento de pedidos
- Patrones de pedidos por frecuencia, tamaño, temporada y contenido
- Metas de servicio al cliente
- Barreras gubernamentales, riesgo político, legislación laboral, normas ambientales, entre otras (especialmente cuando se trata de ubicación de plantas)

En el diseño de la red logística es fundamental contar con fuentes fiables y oportunas de información que faciliten la evaluación y planeación logística.

Para la evaluación logística de localización de instalaciones se encuentran métodos como: *Método de centro de Gravedad* que es común para el caso de localización de una instalación, *método analítico Delfi* que es de tipo más cualitativo y permite considerar algunas variables o factores que no consideran los de tipo cuantitativo, *programación lineal entera mixta* para resolver problemas de ubicación donde hay numerosas alternativas de solución y finalmente la *simulación* que permite a bajo costo probar el funcionamiento de un sistema.

### 2.2.2. Transporte

El transporte es un elemento fundamental en la logística ya que conforma de una a dos terceras partes de los costos totales, sin mencionar su importancia en el nivel de servicio al cliente. Un sistema eficaz de transporte permitirá a la empresa ser más competitiva (menores costos y calidad en el transporte), lograr economías de escalas (mayor producción menores costos) y obtener precios reducidos, que al final de la cadena se pueden traducir como un menor precio en el artículo o un mayor margen de utilidad para la empresa.

Para la adecuada toma de decisiones en transporte es necesario tener en cuenta: las medidas de desempeño, el modo de transporte, el costo de transporte y la optimización del ruteo, que se describen a continuación:

#### Medidas de desempeño

Entre las principales medias de desempeño del servicio de transporte que se definen a continuación se encuentran: el tiempo en tránsito y su variabilidad y las pérdidas y daños.

- *Tiempo en tránsito y variabilidad:* El tiempo de entrega promedio y la variabilidad en el tiempo de entrega son fundamental para brindar un buen servicio que se ajuste a las necesidades del cliente y la empresa.
- *Pérdidas y daños:* De acuerdo al tipo de producto se debe seleccionar el medio, ya que algunos son más propensos a dañar el producto que otros. Las pérdidas y daños pueden ocurrir durante la manipulación de la carga, por accidentes y causas naturales ó por Robo o extravío.



## Modo de transporte

Entre las opciones de transporte encontramos el marítimo, ferroviario, camión, aéreo y ductos, cuyas características diferenciadoras entre sí dependen de:

- Capacidad de volumen a transportar
- Costo por unidad
- Tiempo de transporte
- Tipo de producto
- Volumen y peso del producto
- Disponibilidad del medio de transporte

Los servicios intermodales o multimodales son aquellos donde se usa más de un medio de transporte, es decir una combinación de los sencillos. Los más usados son ferrocarril-camión y barco-camión.

## Costos de transporte

El análisis de los costos de transporte es relevante al momento de decidir el modo de transporte, capacidad de transporte y si va a ser un recurso propio o subcontratado. Los costos de transporte pueden agruparse así:

- *Costos variables*: Son aquellos que varían con la distancia y/o el volumen, como un ejemplo se encuentran: La mano de obra, el combustible, mantenimiento, viáticos, manejo, entre otros.
- *Costos fijos*: Son los costos que no dependen del volumen y/o la distancia, como son: Seguro del vehículos, cargos de interés sobre la inversión en el vehículo, cuotas de licencias, amortización del equipo, gastos relacionados con el resguardo de los vehículos, vía de transporte, entre otros.

## Optimización de ruteo

Para la optimización de ruteo existen varios métodos de acuerdo a las condiciones de la entrega y/o recolección. Entre ellos encontramos:

- *Método de la ruta más corta entre dos puntos ó método del mínimo costo:* En este método se busca solucionar el problema de viajar entre dos puntos (uno de origen y uno de destino) a través de diversos puntos ó red de lugares.

En este método se utiliza un algoritmo iterativo que tiene como criterio de decisión minimizar la distancia recorrida entre los dos puntos, sin tenerse en cuenta otras variables como puede ser el volumen.

- *Problema del transporte ó problema de asignación origen destino:* En este método se tienen varios puntos de origen con una capacidad y varios puntos de destino con una demanda y entre cada punto de origen y destino hay un costo diferente.

En este problema se utiliza la programación lineal para buscar la combinación óptima de unidades a transportar de cada punto de origen a cada punto de destino minimizando el costo ó maximizando la utilidad.

- *Algoritmo de ahorros de Clark & Wriqth:* Se utiliza para resolver problemas de entrega multipunto con ó sin recolección al origen, que puede incluir restricciones de capacidad en cada ruta. En este algoritmo la distancia y las restricciones de capacidad son criterios de solución. El método calcula para cada par de puntos (origen – destino) el ahorro y con base en estos se busca la ruta que los maximice.

### **2.2.3. Administración de la oferta y la demanda**

La administración de la oferta y la demanda tiene como propósito coordinar y controlar las fuentes de oferta y demanda de manera tal que el sistema productivo pueda utilizarse en forma eficiente y que el producto se despache a tiempo. También tiene como objetivo minimizar el efecto látigo en la cadena de suministro, para lo cual se emplean los pronósticos, que permiten proyectar la demanda de los productos en el corto, mediano y largo plazo.

Para el análisis de la demanda se parte de la definición de los tipos de demanda:

- *Demanda dependiente*: Es la demanda causada por la demanda de otros productos y/o servicios.
- *Demanda independiente*: Es la demanda que no obedece directamente a la relación con el uso o consumo de otros productos o servicios. Éste es el tipo de demanda que buscan proyectar las empresas, demanda del mercado.

Para la administración de la demanda existen métodos de pronóstico que pueden ser de tipo cualitativo y cuantitativo como se presenta a continuación:

- *Cualitativo*: Utiliza técnicas subjetivas o de juicios y están basadas en cálculos y opiniones. En este tipo de proyección se utilizan métodos como:
  - *Método Delfi*: Consiste en un grupo de expertos que responde a un cuestionario. Un moderador compila los resultados y formula un nuevo cuestionario que es sometido al grupo.
  - *Consenso de grupo*: Las proyecciones de grupo se desarrollan a través de reuniones abiertas con libre intercambio de ideas con todos los niveles de jerarquía. La dificultad de esta técnica radica en que los empleados de nivel inferiores se sienten intimidados por los de nivel más alto.
  - *Analogía histórica*: La demanda del producto a analizar se proyecta de acuerdo a la demanda de un artículo similar ó sustituto. Es importante y útil en la planeación de nuevos productos.
- *Análisis de series de tiempo (9)*: Busca predecir la demanda futura utilizando la demanda histórica. En este caso los datos pueden incluir elementos de tendencia, estacionalidad, variación aleatoria, autocorrelación o influencias cíclicas. En este tipo de proyección se utilizan métodos como: Promedio de movimiento simple, suavización exponencial, técnica de Box Jenkins, proyecciones de tendencia, serie de tiempo de Shiskin, suavización exponencial con tendencia corregida (Modelo de Holt) y modelo de Winter, entre otras.

- *Relación causal:* Utiliza la técnica de regresión lineal, donde se supone que la demanda está relacionada con algún factor o factores.
- *Modelos de simulación:* Permite examinar supuestos sobre la condición de la proyección y crear escenarios.

#### **2.2.4. Administración de Inventarios**

El inventario es la materia prima, producto en proceso, producto terminado y suministros que se requieren para la creación de los bienes y servicios de una empresa; el número de unidades y/o valor de los productos almacenados por la compañía. Los inventarios son utilizados por las empresas principalmente para:

- *Mejorar el servicio al cliente:* En casos donde la demanda es poco predecible o con un alto factor de variabilidad el inventario permite responder de manera instantánea a los requerimientos del cliente. Los inventarios suministran un nivel de disponibilidad del producto o servicio que pueden satisfacer altas expectativas del cliente.
- *Reducir costos:* Determinar un nivel de inventario óptimo puede llevar a reducir los costos totales de la operación, todo depende de los costos asociados a tener inventario como por ejemplo los costos de producción. Mantener inventario puede favorecer las economías de escala en la producción, pero a su vez lleva el costo asociado de su mantenimiento (instalaciones, personal, costo de oportunidad, deterioro, perdidas, etc).
- *Otras razones:* Permitir una flexibilidad en la programación de la producción, proveer una salvaguardia para la variación en el tiempo de entrega por parte de los proveedores y aprovechar descuentos en compra por volumen.

Para realizar un análisis de la conveniencia del inventario y su correcta administración se deben considerar los costos en los cuales se incurre al tenerlo, como son:

- *Costos de mantenimiento:* instalaciones de almacenamiento, manejo, seguro, hurto, ruptura, obsolescencia, depreciación impuestos y costo de oportunidad del capital.
- *Costo de preparación* (o cambio en la producción): La fabricación de un producto diferente implica obtener los materiales necesarios, arreglar la preparación del equipo específico, documentos, cargar los materiales y desalojar los anteriores suministros.
- *Costo de ordenar:* Costos administrativos para elaborar la orden de compra o de producción.
- *Costos de los faltantes:* Se incurre en este costo cuando no hay existencias de un artículo y hay pedidos, los cuales, deben esperar asumiéndose un mayor costo logístico para cumplir ó compensar al cliente ó se pierde la venta.

### **Sistemas de inventarios**

Un sistema de inventarios es la serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, en qué momento se deben reponer y el tamaño de los pedidos. El sistema de inventarios tiene relación con el tipo de demanda como se presenta a continuación:

- *Inventario para demanda independiente:* Es el inventario que se tiene con miras a satisfacer la demanda independiente de un artículo. Para este tipo de demanda se utilizan los sistemas de inventario continuo e inventario periódico (Tabla 8) y dentro de cada uno de ellos cambian algunos de los rasgos del modelo de acuerdo al objetivo que se persigue con el inventario.

Los enfoques utilizados para la determinación del inventario son el nivel de servicio, el costo de ventas perdidas o el costo de pedidos en espera. En estos casos se hace un análisis probabilístico para determinar el punto de reorden  $R$  en el caso del inventario continuo, y el nivel de inventario máximo  $S$  para el caso del inventario periódico. En estos tres enfoques se

considera que la demanda durante un periodo de tiempo se distribuye normalmente con una media y una desviación típica.

Para cualquiera de los dos casos presentados en la Tabla 3, el costo total logístico se expresa de la siguiente forma:

$$CT_L = \frac{D}{Q}K + \frac{Q}{2}H$$

Donde:

$CT_L$  = Costo total logístico

$D$  = demanda en un periodo

$Q$  = tamaño del pedido

$K$  = Costo de preparación ó de ordenar un pedido

$H$  = Costo de mantenimiento y almacenamiento por unidad del inventario promedio ( $H = i * C$ )

Tabla 8. Comparación de los sistemas de inventario

Rasgo	Inventario continuo	Inventario Periódico
<b>Definición</b>	En este sistema se monitorea el inventario cada vez que se realiza un retiro o adición de productos y cuando se encuentra en un nivel R, se realiza un pedido de tamaño Q.	En este sistema se monitorea el inventario cada periodo T y se pide una cantidad Q que lleve el inventario hasta el nivel S (nivel máximo del inventario).
<b>Cantidad por pedido (Q)</b>	Q - constante (la misma cantidad ordenada cada vez)	Q - variable (varia cada vez que se coloca un pedido), para llegar a un nivel de inventario máximo S.
<b>Cuando colocar el pedido</b>	R - cuando la posición del inventario cae al nivel del nuevo pedido o punto de reorden.	T - Cuando llega el periodo de revisión
<b>Registro</b>	Cada vez que se realiza un retiro o un adición. Mayor tiempo de mantenimiento.	Se cuenta solamente durante el periodo de revisión
<b>Tamaño del inventario</b>	Menor que en el modelo de inventario periódico	Mayor que en inventario continuo
<b>Tipo de artículo</b>	Artículos de mayor valor, críticos o importantes	Artículos de menor valor, de menor importancia y con mayor dificultad para hacer su revisión

- *Inventario para demanda dependiente (MRP)*: Este es el inventario que se requiere para producir un producto de demanda independiente, es decir, es el inventario de las partes del producto de la demanda independiente. Normalmente para determinar este tipo de inventario se realiza la explosión de materiales del producto (BOM), la cual dice cuantas unidades de cierto artículo son necesarias para fabricar un producto.

Para la planeación del inventario de demanda independiente es común utilizar el MRP (planeación de requerimiento de materiales), cuyos objetivos principales son: controlar los niveles de inventario, asignar prioridades operativas para los artículos y planear la capacidad para cargar el sistema de producción. Entre las ventajas del MRP se encuentran:

- Reducción de los precios de venta
- Reducción del inventario
- Mejor servicio al cliente
- Mejor respuesta a las demandas del mercado
- Capacidad para cambiar el programa maestro
- Suministra información por anticipado
- Indica cuando demorar o cuando agilizar un pedido
- Ayuda en la planeación de la capacidad

Entre las desventajas del MRP se encuentran:

- Dificultad para instalarlo, altamente relacionado con el compromiso de la gerencia
- Rigidez del sistema. Cuando en el MRP tradicional se desarrolla un programa es difícil desviarse de éste.

### **2.2.5. Sistemas de información**

Los sistemas de información juegan un rol estratégico en las organizaciones, y para el caso de la manufactura y logística están fuertemente orientados en el tiempo de respuesta, sin perder de vista el enfoque en costo y calidad.

---

La importancia de los sistemas de información en una gestión integrada de la cadena de suministro ha llevado a muchas empresas a implantar sistemas de información inter-organizacional, es decir, sistemas que cruzan el ámbito de los departamentos y de la propia organización con los que se comparte información electrónica sobre alguna de las áreas de gestión de la cadena de suministro.

En general, se puede considerar que los requisitos más importantes que debe cumplir un sistema de gestión de información (10) para permitir una gestión global de la cadena de suministro son los siguientes:

- Gestión global de stocks
- Gestión global de las compras
- Posibilidad de realizar una captura rápida de información en el origen y de registrarla y transmitirla de manera inmediata.
- Total integración de software y hardware heterogéneos dentro de la empresa, para la empresa virtual o a través de la cadena de suministro.
- Sistemas de arquitectura abierta que permitan acomodar nuevos subsistemas (software y/o hardware) o eliminar los existentes.
- Comunicación y cooperación eficiente y efectiva dentro de los departamentos de la empresa y entre empresas de la cadena.
- Rápida respuesta a cambios de órdenes y variaciones inesperadas tanto internas como externas.

Los tipos de sistemas de información y tecnologías más utilizados para administrar la cadena de suministro son:

*MRP (Materials Resources Planning):* Permite a las empresas planificar las necesidades de material para el proceso de fabricación o aprovisionamiento.



Las recomendaciones están soportadas por el ciclo de fabricación definido para llegar a las fechas de necesidad los componentes.

MRP calcula la necesidad bruta para el nivel más elevado de la lista de materiales basándose en los pedidos de ventas y demandas independientes, y también calcula la necesidad bruta de los niveles más bajos de la lista de materiales. Los niveles dependientes pueden tener sus propias demandas independientes, como pedidos de ventas y pronósticos.

*ERP (Enterprise Resources Planning):* Es un tipo de software que permite la administración integrada de los recursos de una empresa. El concepto principal es la integración de la información dentro de la compañía y eliminar la duplicación de la información con sus consecuentes posibles errores y diferencias.

Los sistemas ERP típicamente manejan la producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad, con el fin de que la compañía puede controlar y decidir en tiempo real sobre actividades del negocio como ventas, entregas, pagos, producción, administración de inventarios, calidad de administración y la administración de recursos humanos.

*DRP (Distribution Resources Planning):* es un componente del ERP, es similar al MRP pero especialmente diseñado para cadenas de distribución complejas (multiplanta y múltiples centros de distribución.)

*APS (Advanced Planning Systems):* Son sistemas para planificación corporativa regional o mundial. Trabajan por encima de los ERP de cada unidad de negocios (país, planta, centro de distribución, etc.) Poseen herramientas para transporte que permiten analizar distintas modalidades y combinaciones.

Permite aprovechar el potencial de la información de los ERP y obtener un mejor apoyo a las decisiones de la dirección. Genera los planes óptimos de abastecimiento basándose en la planificación de la demanda, luego en la planificación de la red de abastecimiento y finalmente en una planificación detallada.

*CRM (Customer Relationship Management):* Son sistemas que están orientados a integrar los puntos de contacto con el cliente. El resultado final es una fuerte ayuda a los departamentos de ventas para desarrollar promociones y

---

pronósticos de ventas. Prácticamente todos los sistemas ERP ofrecen un módulo de CRM como extensión que permite: Recolectar información de los clientes desde todos los puntos de contacto, construir perfiles de clientes, almacenar y mostrar los perfiles de los clientes en tiempo real y desarrollar planes de marketing y de servicios que respondan a las necesidades de los clientes más rentables.

*CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)*: Es una metodología que se basa en la colaboración entre los distintos eslabones de la cadena de abastecimiento. Entendiéndose por colaboración a la planificación conjunta entre clientes y proveedores.

El objetivo del CPFR es el co-gestionamiento de procesos e información, por lo tanto se deben integrar procesos de clientes y proveedores para lograr reducir los niveles de inventarios, ciclos de abastecimiento y costos en toda la cadena. La forma de operar es que todos publican los pronósticos y las ventas reales en Internet.

*ECR (Efficient Customer Response)*: Se trata de un modelo de negocio basado en la integración de la información logística y comercial en la cadena de abastecimiento especialmente pensada para la relación entre supermercados y sus proveedores. El objetivo es pasar a un esquema del tipo “pull” para responder a la demanda real del consumidor. Esto permite reducir los inventarios de forma notable y tener un reaprovisionamiento, surtido, promociones e introducciones de productos más eficientes.

*VMI (Vendor Managed Inventory)*: Es una práctica en la cual es el proveedor quien se ocupa de la reposición automática de mercaderías en poder del cliente. Este último le suministra en forma electrónica (EDI) la información de sus stocks y ventas.

El proveedor sabe cuándo y cuánto tiene que abastecer porque el sistema genera un pedido automático que el cliente confirma. El cliente y el proveedor deben diseñar los términos de un contrato en el cual se establecen las frecuencias de reabastecimiento, plazos de pago, etc.

*WMS (Warehouse Management System)*: Es un sistema de información en línea que maneja y optimiza: inventario, recurso humano, equipos y espacio dentro del Centro de Distribución. Es una herramienta altamente flexible y robusta

que permite manejar las operaciones logísticas del CEDI. El WMS interactúa fácilmente con herramientas y tecnologías como EDI, códigos de barras y RFID.

Entre sus funciones básicas se encuentran: Recepción, Colocación, cross docking, picking, packing, empaque, envío, control de inventario, conteo cíclico, manejo de personal dentro del Centro de Distribución, manufactura ligera, y valor agregado.

## **2.3. Logística Esbelta**

### **2.3.1. Definición, usos y beneficios**

La logística esbelta (lean logistics) es la dimensión logística de la manufactura esbelta que tiene su base en el pensamiento esbelto, el cual surgió en las operaciones de manufactura de Toyota (TPS) y de ahí se dispersaron a lo largo de toda su cadena de proveedores.

La manufactura esbelta es un acercamiento sistemático para identificar y eliminar desperdicios a través de la mejora continua, por medio del movimiento del flujo del producto conforme la demanda del cliente.

Para comprender el pensamiento esbelto se parte del hecho de que una porción del tiempo, esfuerzo y recursos de una organización deben añadir un valor real para el cliente y el producto. El término “esbelto” fue popularizado por Womack (1990) como un sistema que usa menos recursos de entrada para crear salidas similares a un sistema de producción en masa, pero ofreciendo una mayor valor para el cliente final (11). Womack también define cinco principios base del pensamiento esbelto, estos son:

- Definir valor desde el punto de vista del consumidor.
- Identificar la cadena de valor (Value stream).
- Hacer que el valor creado se mantenga en el flujo.
- Sistema de producción “pull” (jalar) desde el cliente.
- Buscar la perfección

El paso inicial para la aplicación del pensamiento esbelto a logística es identificar en la cadena de suministro las actividades de conversión y actividades de flujos. Las actividades de conversión son las que agregan valor a la materia que será convertida en producto, y las actividades de flujo son las que no generan valor, pero son la liga entre las actividades de conversión. El objetivo principal en la logística esbelta es reducir o eliminar las actividades de flujo cuyos beneficios principales esperados son:

- Reducción de costos
- Mejoramiento del servicio al cliente
- Mayor velocidad de respuesta
- Eliminación del desperdicio
- Impacto significativo en el capital invertido

Para lograr los beneficios presentados se considera necesario mantener el enfoque en:

- *Conocimiento de la demanda:* Conocimiento y comunicación de la demanda en la cadena de suministro a través de la implementación de un sistema pull, donde el flujo de información se inicia en el cliente hasta llegar al proveedor.
- *Relaciones con el cliente:* Fidelización de los clientes a través del cumplimiento de los 8 deberes logísticos y de una comunicación y retroalimentación efectiva.
- *Relaciones con los proveedores:* Relaciones de largo plazo en un ambiente de comunicación y confianza.
- *Transporte:* Distancias cortas de movimiento en la planta con rutas establecidas “milk runs” **(12)**, mayor frecuencia de entregas a los clientes, adecuada planeación y administración de la flota de transporte y ruteo y manejo de información.
- *Almacenamiento y distribución:* Utilización de ayudas visuales, eficiente administración del inventario (flujo nivelado, tamaños de lote) y adecuado manejo de información.

### 2.3.2. Conceptos y herramientas claves

En la filosofía de logística esbelta se emplean dos tipos conceptos y cada uno de ellos maneja sus propias herramientas como se menciona a continuación:

#### Conceptos de flujo

Se arraigan en la administración de flujos físicos de la cadena de suministro (13). Algunas herramientas dentro de este concepto son:

- *Sistema tipo Pull:* La idea es abastecer solo cuando el cliente necesita, donde el cliente puede ser un cliente interno o externo. Los beneficios son la reducción de inventario debido a que no se especula sobre la demanda, reducción de transporte, reducción de defectos entre otros.

Para el sistema pull se utilizan las señales kanban (tarjetas o electrónico), que comunican en qué momento se genera demanda para abastecer de nuevo. También se usan los contenedores retornables como en el caso de Toyota, y sirve como una herramienta visual.

- *Administración del lead time, velocidad y flexibilidad:* Para una mayor respuesta al cliente se deben tener cortos lead time y para esto se deben considerar procesos como la captura, abastecimiento y entrega de las órdenes de pedido. Para reducir el lead time se debe rediseñar el proceso teniendo en cuenta su interacción con otras funciones internas, proveedores y clientes.

La idea es sincronizar el sistema, realizar solo las actividades que agregan valor, eliminar los cuellos de botella y ser consistente con la teoría de restricciones, ya que la velocidad de flujo en el sistema está regulada por la velocidad del recurso que restringe la capacidad.

La administración del lead time, representa una medida holística de la disposición tangible en la cadena de suministro y debe llevar a una compañía a ser rápida, confiable y flexible en sus procesos.

- *Frecuencia y tamaño de lote:* Está asociada al concepto de flujo nivelado. Se busca establecer tamaños de lote pequeños y una mayor frecuencia en las entregas.

- *Flujo nivelado*: El flujo nivelado viene de la idea de Heijunka o producción nivelada, que es una técnica que adapta el suministro y la producción a la demanda fluctuante del cliente.

La herramienta principal es planear la producción suavizada a través del una mezcla adecuada de productos en las líneas con tamaños de lote chicos, en lugar de ejecutar lotes grandes de un modelo después de otro.

## Conceptos de organización

El manejo de las organizaciones también es parte de la teoría “Lean” e incluye herramientas como:

- Plan de trabajo estandarizado
- Organización 5S's y control visual
- Poka Yoke
- Kaizen

### 2.4. Six sigma

#### 2.4.1. Definición, estructura y modo de operación

Six Sigma es una metodología de mejoramiento desarrollada por Motorola en los años 80's con el propósito de reducir los defectos en sus procesos. También es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente y en un manejo eficiente de los datos para eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) (14).

Los esfuerzos en Six sigma se enfocan en tres aspectos principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir los tiempos de ciclo
- Reducir los defectos

Las mejoras aquí representan ahorros de costos y mayores oportunidades para mantener a los clientes, capturar nuevos mercados e incrementar productos y servicios.

Six sigma se caracteriza de calidad total en:

- Six sigma está enfocada en el cliente
- Los proyectos Six sigma producen altos retornos de la inversión
- Six sigma cambia el modo de operar de la gerencia. Se enfoca en trabajar inteligentemente y no duramente.

Para implementar exitosamente six sigma se requiere (15):

- Compromiso en los líderes de la organización
- Uso del mejor talento
- Brindar soporte en infraestructura (entrenamiento, recursos, etc)

### **Actores de la metodología six sigma**

- *Gerencia:* Personas que incluyen six sigma en la planeación estratégica. Promueven cambios mayores en la cadena de valor y remueven barreras frente al cambio.
- *Champions:* Miembros de la gerencia que promueven el cambio, identifican proyectos, proporcionan recursos específicos y rinden cuentas por los resultados del proyecto.
- *Master Black belts:* Proveen liderazgo técnico que permite a la organización integrar six sigma con las operaciones. Asisten a los black belts en soluciones estadísticas inusuales. Entrenan los black belts y Green belts.
- *Black Belts:* Personas con orientación técnica y habilidades matemáticas. Desarrollan e implementan proyectos asignados en tiempo, calidad y costo.

- *Green Belts*: Facilitan y forman equipos de trabajo para desarrollar proyectos de principio a fin. Se apoyan en los black belts. Sus proyectos son normalmente menos estratégico y con mayor enfoque local que los desarrollados por los Black Belt.

### **Características y modo de operación**

Six sigma es una metodología rigurosa que utiliza herramientas como DMAIC y métodos estadísticos con el fin de: *Definir* los problemas y situaciones a mejorar, *Medir* para obtener información y datos, *Analizar* la información recolectada, *Implementar* mejoras a los procesos y finalmente, *Controlar* los procesos o productos, con el objetivo de alcanzar resultados sostenidos, lo que a su vez genera un ciclo de mejoramiento continuo.

Six sigma no funciona solamente con la planeación, sino que requiere el uso intensivo de herramientas estadísticas para identificar los procesos clave de la organización que requieren mejoras y que de una u otra forma afectan la satisfacción del consumidor frente al producto o servicio ofrecido.

Es de resaltar que six sigma no es solo una metodología de mejoramiento, es:

Un *sistema* de administración para alcanzar negocios duraderos, liderazgo y mejor desempeño aplicado al beneficio del negocio, los clientes, asociados y accionistas.

Una *medida* para definir la capacidad de un proceso

Un *meta* para el mejoramiento que es llegar cerca de la perfección

#### **2.4.2. Herramientas de desarrollo**

Entre las herramientas de desarrollo de proyectos seis sigma encontramos: Herramientas de solución de problemas, herramientas de análisis causal y herramientas de medición.



## Herramientas de solución de problemas

La principal herramienta de solución de problemas que plantea “Lean Six sigma” es la metodología DMAIC, que se resumen de la siguiente forma:

- *Definir*: En esta etapa lo que se busca es definir claramente el problema.
- *Medir*: Se refiere a los logros del estado actual, especialmente medir y recopilar información y datos útiles con respecto a lo que se definió como problema a mejorar.
- *Analizar*: Aquí es donde el DMAIC toma prestado el método científico para la solución de problemas con el fin de encontrar la causa principal o principales. Los pasos básicos son:
  - Observación del fenómeno o grupo de fenómenos
  - Desarrollo de hipótesis que buscan explicar o predecir el fenómeno
  - Probar la hipótesis por relaciones causales
- *Mejorar*: Conociendo las causas se deben tomar acciones para su mejoramiento. Esta etapa se diseña la estrategia de cambio o mejoramiento que contribuye el logro de una ventaja competitiva.
- *Controlar*: A pesar del reto de presentar la idea y mejorarla, se debe sostener el esfuerzo. Aquí se centra principalmente en elementos como la motivación y los indicadores para continuar midiendo y mantener los resultados.

## Herramientas de análisis causal

Entre las herramientas de análisis causal más utilizadas para los análisis seis sigma se encuentran:

- *Lluvia de ideas*: Su propósito general es iniciar una conversación y recoger ideas.

- *Diagramas causa-efecto*: Es una herramienta cualitativa, donde con el diagrama se pretende generar discusión sobre las causas del problema y detectarlo.
- *Diseño de experimentos*: Está basada en el control aislado de la causa y su efecto relacionado. El diseño de experimentos sirve para analizar cuales variables controlables realmente están representando un efecto en la variable de respuesta.
- *Estadística inferencial*: Se usa principalmente para analizar la variación. La premisa básica es usar una muestra de datos para inferir que ocurre en la realidad. Se desarrollan modelos compuestos de variables observables y medibles. Pueden utilizarse análisis univariados o multivariados para explicar que está pasando.

### **Herramientas de medición**

Mientras “lean” busca un diseño eficiente y efectivo del proceso, “six sigma” se enfoca en medir la capacidad del proceso para guiarlo a su mejoramiento. El término “six sigma” se refiere a la ejecución y busca menos de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Entre sus objetivos también está reducir la variabilidad y crear nuevos estándares de desempeño.

- *Defectos por millón de oportunidades (DPMO)*: Los defectos se definen en los ojos de los clientes y las oportunidades para defecto son las formas como el proceso puede ir mal, pero se pueden arreglar.

Para definir las métricas se tiene la siguiente nomenclatura: Número de defectos (D), número de unidades (U), oportunidades por defecto (O).

Usando esta nomenclatura se definen las siguientes relaciones:

Número total de oportunidades  $TOP = U \times O$

Defectos por unidad  $DPU = D/U$

Defectos por oportunidad por unidad  $DMPO = D/(TOP \times 1.000.000)$

Con el dato del DPMO se encuentra el z-score y la probabilidad.

DPMO es usado para calcular el desempeño sigma (sigma performance). Sirve para comparar procesos y es una métrica común en los procesos que varía en nivel de complejidad o número de pasos en la actividad.

- *Gráficos de control:* Los gráficos de control tienen un UCL (upper control limit) y un LCL (lower control limit) que delimitan el rango de desempeño aceptable dadas unas especificaciones del cliente. Cuando un producto está dentro de los límites de especificación se conoce como producto conforme. La idea aquí es buscar reducir el rango entre el UCL y LCL porque esto significa que hay menor variación.

## 2.5. Lean y six sigma

### 2.5.1. Definición

A lo largo de los años se han desarrollado diferentes metodologías y filosofías con el mismo fin, maximizar el valor para el accionista. Entre estas metodologías encontramos: JIT, TPS, TQM, lean manufacturing, six sigma, Lean enterprise y enfoque en la calidad, como se ilustran en el cuadro evolutivo de la Figura 9 (14). Sin embargo, los enfoques y objetivos de estas metodologías y filosofías han sido limitados al área productiva al igual que sus herramientas.

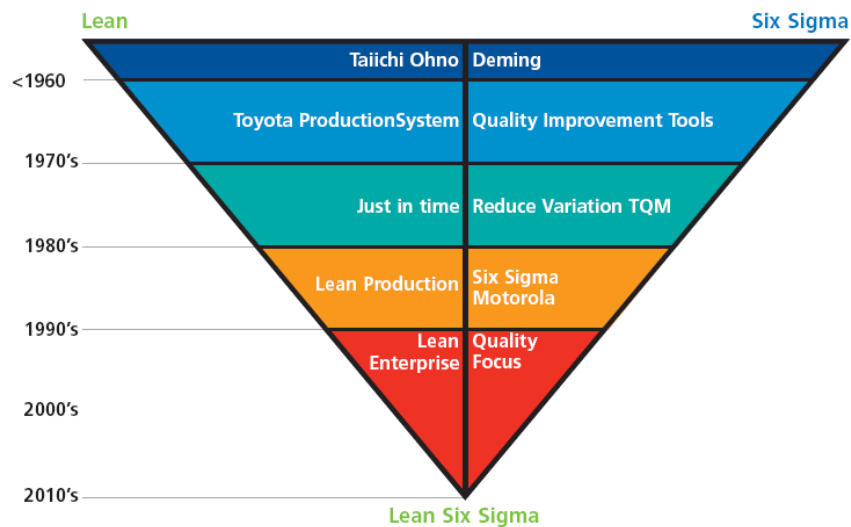


Figura 9. Historia de Lean y six sigma (14)

Lean y Six sigma independientemente presentan sus falencias como se muestra en la Tabla 9. Como se mencionó anteriormente (numeral 2.3) “Lean” tiene como objetivos principales incrementar la velocidad del proceso y reducir o eliminar el desperdicio y las actividades de flujo; mientras “Six sigma” (numeral 2.4) a través de la metodología DMAIC y herramientas estadísticas busca determinar la causas de variación en los procesos y reducir los defectos.

“Lean six sigma” es una filosofía y metodología que combina “Lean manufacturing” con “six sigma” tomando en consideración a los proveedores y a los clientes, y establece cómo mejorar los procesos en una forma que involucra los costos de la mala calidad, procesos fuera de control, el desperdicio y los factores críticos de los requerimientos de los clientes.

Tabla 9. Fallas de Lean y Six sigma

Lean	Six sigma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No describe explícitamente proyectos, no define una metodología y no involucra los roles de las personas para el logro del resultado.</li> <li>• No provee herramientas para el análisis y detección de las fuentes de variabilidad</li> <li>• No reconoce el impacto de la variabilidad en los procesos</li> <li>• Enfoque en la cadena de valor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tiene un enfoque de eliminación del desperdicio</li> <li>• Por si solo no puede mejorar la velocidad de los procesos dramáticamente</li> <li>• El objetivo de reducción de defectos de six sigma se logra más rápido con el enfoque lean de eliminar las actividades que no agregan valor</li> </ul>

La clave de la aplicación de Lean y Six sigma es encontrar la combinación óptima de los dos enfoques como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Enfoques de Lean y Six sigma

Lean	Six sigma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque en el cliente</li> <li>• Aumento de la velocidad de respuesta</li> <li>• Eliminación del desperdicio</li> <li>• Enfoque en la cadena de valor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque en el cliente</li> <li>• Detección de la variabilidad</li> <li>• Reducción de defectos</li> </ul>

Integrando Lean y six sigma se crea una situación ganadora porque esta combinación provee la filosofía y herramientas efectivas para solucionar problemas y crear mejoramientos rápidos al menor costo.

### 2.5.2. Análisis y evaluación de un sistema logístico

En la literatura revisada se encontró el modelo de puente (13), el cual está diseñado para analizar el sistema logístico de una empresa y utiliza algunos conceptos y herramientas de lean manufacturing y six sigma. La estructura del modelo de puente se presenta en la Figura 10.

El modelo de puente considera tres aspectos fundamentales para la realización del análisis que son: *Flujo logístico* (Detectar los elementos del flujo que son inherentes a todas las funciones de negocio), *capacidad logística* (Se busca llevar la capacidad a exceder las expectativas del cliente) y *disciplina logística*.

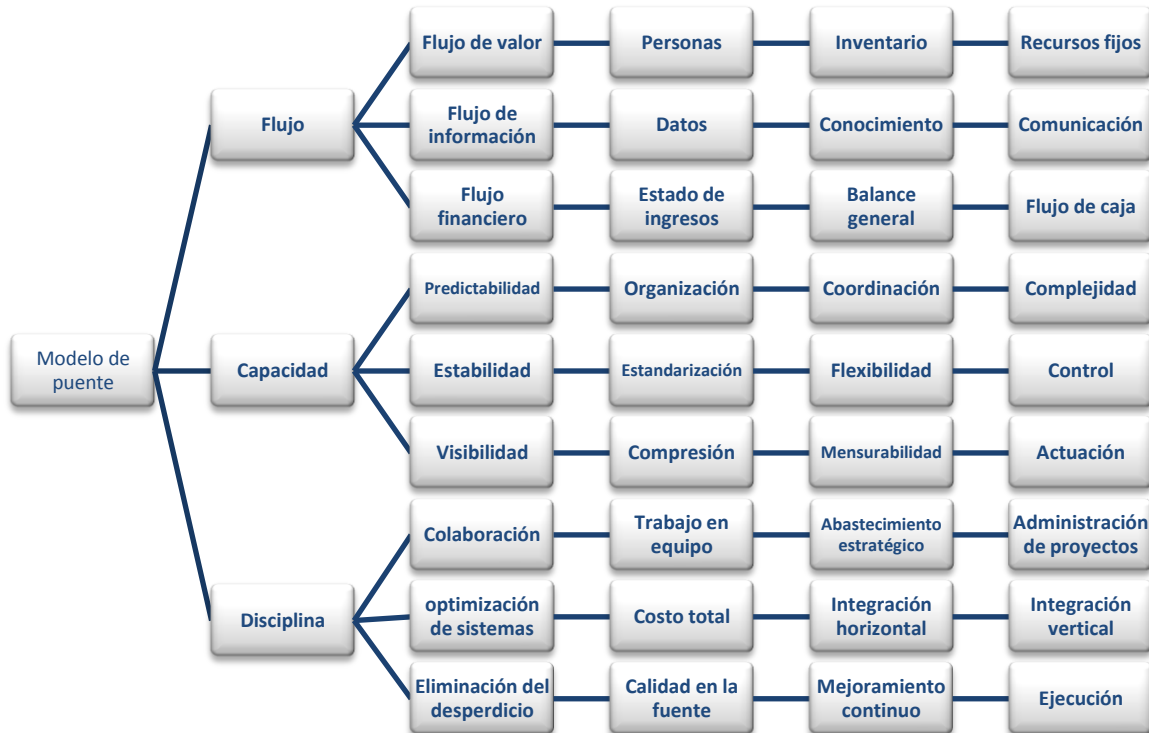


Figura 10. Modelo de Puente (13)

## Modelo Lean Six Sigma Logística

---

### 3.1. Introducción

El modelo estratégico de desarrollo que se propone en este proyecto, *LSSL - Lean six sigma logistics*, es un modelo aplicable a diversos productos y servicios logísticos tales como: transporte, almacenamiento, sistemas de información, distribución, tecnologías, entre otros. Dicho modelo permite detectar oportunidades de mejora, dimensionarlas adecuadamente y tomar acciones correctivas.

### 3.2. Pilares del modelo

El modelo LSSL además de integrar Lean y six sigma busca superar algunas críticas realizadas a estas dos metodologías como son:

- Falta de perspectiva estratégica
- Se aplican solo a ciertos ambientes (manufactura y diseño)
- Las interacciones del sistema no son consideradas
- Los procesos de mejoramiento son independientes
- Requieren de una inversión significativa

Para lograr superar las críticas mencionadas y alcanzar los objetivos del proyecto (capítulo 1), el modelo LSSL se conforma de cuatro pilares: La estrategia, elementos de enfoque, elementos de desarrollo, elementos de resultado. La intención es mantener una visión estratégica, integrada y enfocada en los aspectos relevantes que determinan un buen desempeño logístico.

La representación del modelo se puede apreciar en la Figura 11, donde los elementos presentados conducen al logro del objetivo de la estrategia (alineación de la cadena de suministro), que a su vez conduce al cumplimiento

de los objetivos logísticos (nivel de servicio y reducción de costos) y que finalmente conducen al objetivo de la empresa “Maximizar el valor”.

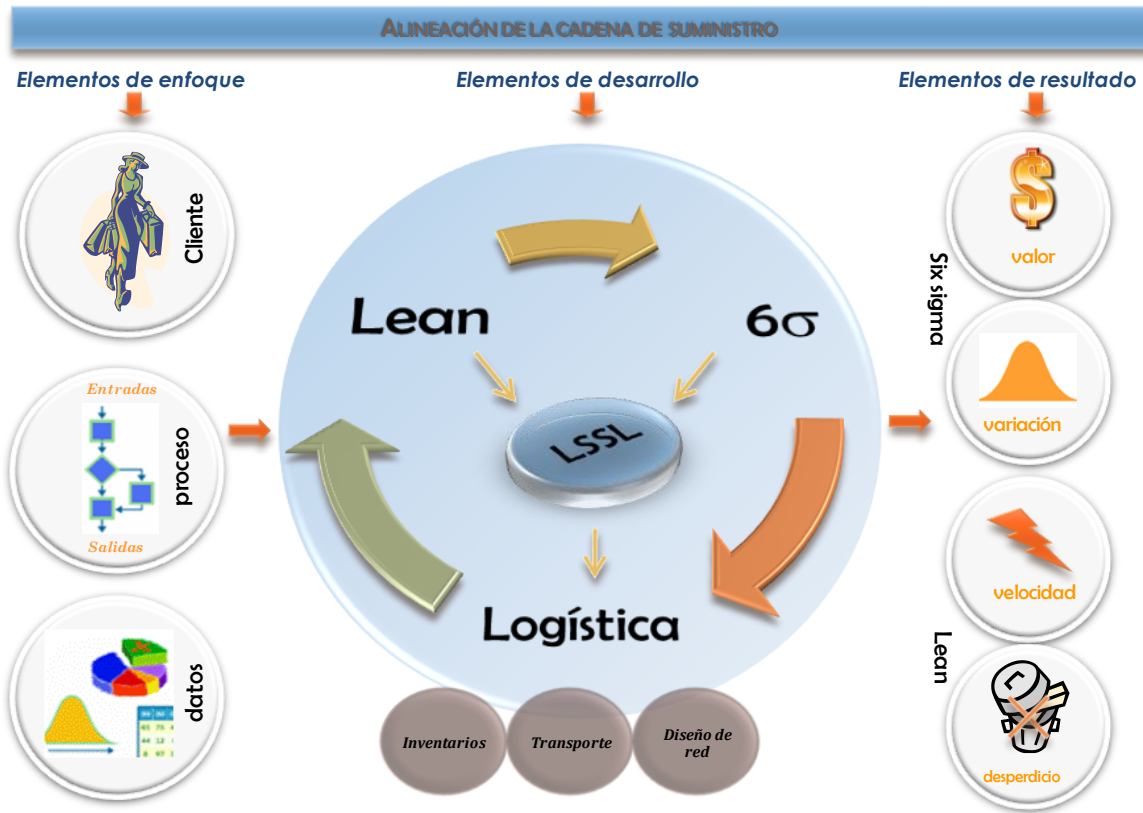


Figura 11. Modelo Lean six sigma Logistics - LSSL

La secuencia de consecución de los objetivos a través del modelo LSSL teniendo como base los cuatro pilares se presenta en la Figura 12.

A continuación se describe la importancia de cada pilar dentro del modelo:

1. **La estrategia:** La estrategia propuesta en el modelo responde a la necesidad de coordinación y sincronización de toda la cadena de suministro, que permitirá mejorar el servicio al cliente y minimizar los costos logísticos. La estrategia consiste básicamente en el logro de un objetivo estratégico:

*“Alineación de la cadena de suministro”*

La alineación de la cadena de suministro incluye:

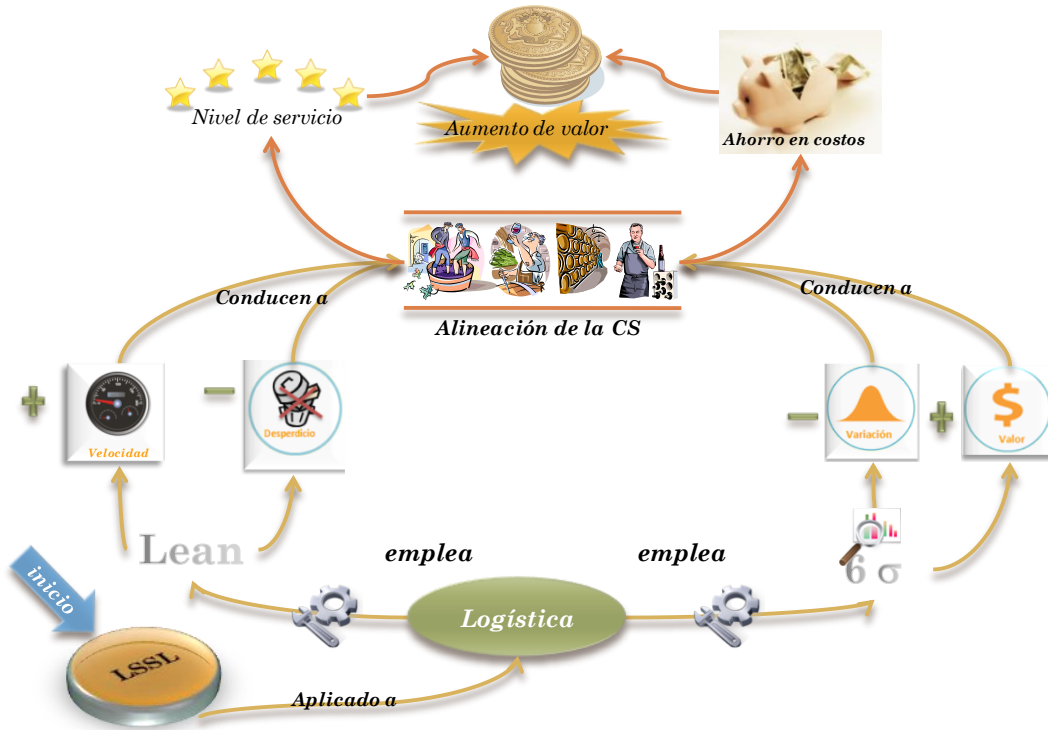


Figura 12. Mapa conceptual de desarrollo de objetivos de acuerdo al modelo LSSL

- *Alineación entre el suministro y la demanda:* Para lograr la alineación las compañías deben cambiar de un sistema de movimiento de producto tipo “push” (empujar), basado en información incompleta o inexacta de la demanda, a un método tipo “pull” basado en una respuesta rápida a las señales de generación de demanda en tiempo real.

El integrar pronósticos con datos de ventas permite planear para el futuro mientras que se capta y responde en el presente. La demanda total se empata dinámicamente con los recursos, desencadenando la producción y “fulfillment” (cumplimiento).

La alineación del suministro y la demanda contribuye al mejoramiento del flujo, reducción de inventarios y minimización del efecto látigo a lo largo de la cadena.

- *Alineación de las tecnologías de información:* Las tecnologías de información deben ser compatibles al interior y exterior de la organización con el propósito de facilitar el flujo de información en



tiempo real y reducir la cantidad de operaciones de digitación o manejo manual de información por tecnologías incompatibles.

En ocasiones las empresas compran módulos independientes de manejo de información para sus diferentes áreas funcionales y en el momento de querer integrar y compartir información es difícil porque los lenguajes o tecnologías utilizadas no son compatibles entre sí. Por ende, es muy importante al momento de evaluar proyectos tecnológicos tener una visión de largo plazo, considerándose los diferentes usos e interacciones actuales y futuros que se pretenden o pueden lograr al adquirir la tecnología.

- *Alineación en los flujos físicos y de información:* Los flujos físicos y de información deben ocurrir en el mismo momento con el propósito de minimizar errores por: faltante o exceso de información, ingreso de datos fallido, retraso de otras actividades o bloqueo total en las actividades subsecuentes en el peor escenario.
- *Alineación de objetivos y estrategias en toda la cadena:* Todas las organizaciones tienen sus objetivos trazados y por ende todos los proyectos o inversiones de mejoramiento, reestructuración, crecimiento, entre otros, deben conducir al logro de los objetivos de la empresa. De no ser así, se pueden realizar esfuerzos e inversiones que no van a reeditar a la empresa de la forma esperada.

**2. Elementos de enfoque:** Se consideran la base para el desarrollo de proyectos como iniciativas de expansión, cambio, mejora y exploración de oportunidades. Los tres enfoques que se consideran relevantes y que pueden conducir al éxito a un negocio son:

- *Enfoque en el cliente:* El cliente es la razón de ser de un negocio ya que es él quien provee los ingresos que sostienen la compañía y le permiten funcionar y crecer dentro del mercado, por ende todas las acciones de la empresa en cualquier rumbo deben ser medidas con respecto al cliente. Debido a esto, el cliente debe ser la fuente primaria de información y de retroalimentación para las acciones que se ejecuten en la empresa.

También se debe tener en cuenta que los cambios en los requerimientos del cliente siempre afectarán los procesos de la empresa y cambios o

---

mejora en los procesos de la empresa generarán algún impacto en el cliente o consumidor final.

En general lo que la empresa espera al brindar un buen servicio logístico al cliente es: poder llegar a ofrecer mejores precios para mover mayores volúmenes, vender a un mayor precio, fidelizar los clientes, atraer nuevos clientes y/o ampliar y diversificar el mercado. Si a través de las acciones realizadas no se logra ninguna de las anteriores no se está agregando valor realmente.

- *Enfoque en los procesos:* Los procesos son el motor que mueve el esfuerzo para servir al cliente (interno y externo) y ganar dinero, es donde se encuentra la acción del negocio y donde se mejora el mismo. Un buen proceso permite servir adecuadamente al cliente y por ende hay que examinar su ruta, saber a dónde se va – necesidades del cliente - y lo que se debe hacer para llegar a ese destino.

Siempre se debe buscar realizar el menor número de actividades posibles, es decir, no hacer lo que no se requiere y eliminar la burocracia operativa con el fin de mejorar el flujo del proceso e información y facilitar todas las actividades de apoyo asociadas al mismo. Cuanta más complejidad se agrega al proceso logístico más difícil es su manejo y control, ya que hay más pasos y estos son un elemento multiplicador de errores y por lo tanto de posibles defectos.

- *Administrar con datos y hechos:* El objetivo es recopilar información real y datos que ilustren la realidad de la situación para no caer en suposiciones, no siempre la intuición lleva a la mejor conclusión. Los números siempre dan una buena idea de lo que sucede, al igual que escuchar a las personas, especialmente los clientes y aquellas que interactúan ó inciden de forma directa en los hechos que se analizan.

Cuando una empresa no conoce su desempeño en cifras toma caminos que no se sabe si llevan al objetivo propuesto, porque no hay visibilidad ni un punto de partida claramente establecido. Por esto, los datos y los hechos también deben ser una fuente primaria de información y deben ser tenidos en cuenta para la toma de decisiones.

Los enfoques anteriores se consideran vitales en la recolección, análisis adecuado de información y posterior búsqueda de soluciones.

---

- 3. Elementos de desarrollo:** En los elementos de desarrollo es donde se integran las herramientas y principios de lean y six sigma con logística.

En el modelo LSSL se sugieren cuarenta y seis herramientas de las doscientas treinta y siete encontradas en la literatura (16). El objetivo principal no es maximizar el número de herramientas sino sugerir aquellas de mayor facilidad de uso, con buenos resultados y aplicables al entorno logístico en inventarios y transporte principalmente (numerales 2.2.1, 2.2.4).

La metodología a seguir en el modelo será la DMAIC, donde cada una de sus fases (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) cuenta con unas etapas de desarrollo que delimitan o definen algún requerimiento de información importante dentro de la fase. En el numeral 3.3 se presenta con mayor detalle cada una de las fases de la metodología, las herramientas a utilizar y los interrogantes que responde.

- 4. Elementos de resultado:** Los resultados que se esperan obtener con la correcta aplicación del modelo son los siguientes:

- *Incrementar el valor:* A través de la reducción de los defectos dentro de los procesos logísticos se reducen los costos y por ende se aumenta el valor. Este objetivo de seis sigma está muy ligado al objetivo de eliminación del desperdicio en lean, porque la eliminación de defectos con la eliminación del desperdicio hacen la operación más eficiente, menos costosa y por ende se genera mayor valor.
- *Reducir la variabilidad de los procesos y los defectos:* Lo que se busca es controlar los factores generadores de variación para reducir los costos en toda la cadena de suministro.

Los defectos son producto de situaciones que se encuentran fuera de control por causas conocidas o desconocidas, donde la empresa no han realizado las acciones necesarias para evitarlas. El análisis causal que se presenta a lo largo de la metodología DMAIC en cada etapa conlleva a determinar la causas de variación y defectos para tomar las acciones correctivas y preventivas pertinentes.

- *Eliminar el desperdicio:* El desperdicio es un generador de costo y reduce las utilidades y el valor de la empresa.

Las fuentes de desperdicio principales a ser eliminadas en logística son: Realización de actividades innecesarias, altos tiempos de espera, movimientos innecesarios, desperdicio en los procesos (empaques, inspecciones, espacio, etc), inventario, métodos ineficientes de trabajo y los defectos. Para lograr esto se recomienda la aplicación de herramientas como son 5S's, poka yokes en las operaciones, sistema “pull”, entre otras, como se menciona en la fase de mejoramiento (3.3.4).

- *Incremento de la velocidad:* Mayor velocidad en el flujo en toda la cadena permite incrementar la flexibilidad de la empresa lo que contribuye a brindar una mayor velocidad de respuesta al cliente mejorando el servicio. El aumento de la velocidad de flujo o reducción del lead time es importante que se acompañe de la reducción de la variabilidad y defectos para no alterar los elementos de calidad.

### 3.3. Fases de la metodología del modelo

El modelo se desarrolla siguiendo las fases de la metodología DMAIC, donde para cada una de estas se busca responder a ciertos interrogantes específicos haciendo uso de las herramientas “Lean” y “Seis sigma”. Las fases principales, herramientas y objetivos de la metodología se presentan en la Figura 13.

Fase	Objetivo	Herramientas Lean	Herramientas Six Sigma
Definición	Reconocer lo que sucede y detectar como está la empresa en términos generales (con respecto al cliente, en sus procesos y de acuerdo a los datos y hechos del momento). Esto alertará sobre la necesidad de generar proyectos que conduzcan a solucionar los problemas u oportunidades que se hallan percibido.	VOC VSM alto nivel Análisis Kano	VOC OFD Análisis financiero Ing. Económica Análisis de restricciones Matriz multicriterio Análisis de requerimientos CTQ Matriz XY Benchmarking Pareto SIPOC
Medición	Establecer el estado actual de la empresa de una forma cuantitativa. También se determinan los puntos de enfoque del proyecto elegido y se recopila información sobre estos para su posterior análisis.	Mapa de procesos VSM	Indicadores NGT Lluvia de ideas Métodos estadísticos Gráficas de Control Medición de capacidad Hojas de datos Pareto Histogramas Muestreo
Análisis	Responder la pregunta de, dónde y porqué se producen los defectos. Detección de causas del problema		DOE FMEA Regresión lineal ANOVA Diagrama Causa efecto Teoría de colas Pruebas de hipótesis
Mejoramiento	Mejorar el proceso a través de acciones para eliminar o controlar las causas del problema.	5S's TPM Capacitación Flujo nivelado Control visual Frec. y tamaño de lote Trabajo estandarizado Poka Yoke VSM JIT – sist. Pull – kanban Milk runs	Simulación FMEA Ingeniería de proyectos
Control	Sostener el mejoramiento y las ganancias.	Validación Institucionalización Estandarización y documentación Auditoría	Indicadores

Figura 13. Fases, herramientas y objetivos de la metodología DMAIC

### 3.3.1. Fase de definición

En esta fase se busca clarificar los objetivos, recursos necesarios y valor, de los proyectos a realizar. Para esto se sugiere un grupo de herramientas que se presentan en la Tabla 11 y se desglosan en las etapas de desarrollo de la fase que son:

- Etapa 1: Definición de oportunidades
- Etapa 2: Definición de recursos
- Etapa 3: Selección del proyecto y desarrollo de propuesta

A continuación se describen las herramientas propuestas para cada etapa:

***Etapa 1. Definición de oportunidades:*** Lo primero para lograr una acertada definición de oportunidades es contar con un recurso humano que tenga una gran visión, conocimiento de la empresa y emprendimiento para detectar y promover las oportunidades. A continuación se mencionan algunas herramientas que pueden ayudar a esta (s) persona (s) en esa búsqueda.

Tabla 11. Herramientas en la fase de definición

FASE DE DEFINICIÓN		
Objetivo	Herramientas Six sigma	Herramientas Lean
En esta fase se busca definir claramente el problema	VOC QFD Análisis financiero SIPOC Análisis de requerimientos CTQ Matriz XY Benchmarking Ing. Económica Análisis de restricciones Matriz multicriterio Pareto	VOC VSM alto nivel Análisis Kano

En la etapa de definición de oportunidades buscaremos resolver tres preguntas a través del uso de las herramientas y su análisis como se presenta en la Figura 14.

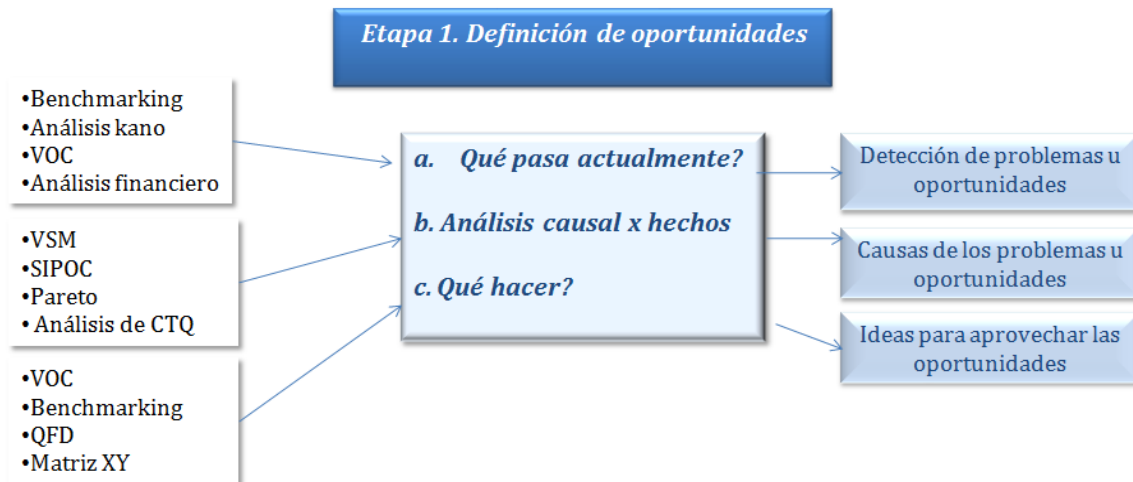


Figura 14. Representación de la etapa de definición de oportunidades

*a. Qué pasa actualmente?* Para que una empresa comprenda que es lo que sucede actualmente debe darse una visión general de los hechos y datos a través de las siguientes herramientas:

- *Benchmarking*: El propósito de la realización del benchmarking es que la empresa logre conocer su posición actual frente a la competencia o consigo misma en diferentes periodos de tiempo.

En logística el benchmarking externo es común para indicadores de costo (costo de transporte, costo de almacenamiento/m<sup>2</sup>, costo de inventario, costo logístico, entre otros) y servicio (cobertura, participación de mercado, entrega de pedidos perfectos, pedidos entregados en el lugar correcto y hora correcta, etc).

Internamente las empresas que desean realizar un benchmarking deben diseñar sus indicadores relevantes, medirlos periodo a periodo y comparar resultados. Esto da una visión del rumbo que está tomando la empresa y de cómo es su desempeño.

- *La voz del cliente*: Es común que las compañías midan su progreso y mejoramiento en función de sus indicadores de operación, pero.... se está agregando algún valor?

Escuchar la voz del cliente representa la creación de valor que conlleva a incrementos en los ingresos y la tasa de crecimiento de la empresa. Siempre

se debe tener presente que es el cliente quien determina la mejora o declive de un producto o servicio expresando sus niveles de satisfacción.

En logística la satisfacción del cliente es medida principalmente con el cumplimiento de los ocho deberes de la empresa, pero sin embargo, es un área donde se pueden brindar servicios diversos que agregan valor porque ayudan al cliente a mejorar su desempeño en las operaciones (estrategias logísticas, acuerdos de consolidación de carga, desarrollo del proveedor cercanos, crossdocking, etc) y en el caso de un consumidor facilitan su vida (disponibilidad de productos, accesibilidad, calidad, etc).

Los métodos más comunes para escuchar la voz del cliente son la observación, entrevistas, encuestas personales, telefónicas, vía email, visitas, árbol CTQ (análisis de requerimientos críticos del cliente) y quejas y reclamos de los clientes.

- *Análisis Kano*: Lo que hoy genera satisfacción para el cliente, mañana es un deber ser. Esto es muy común en los servicios, por ende siempre se debe ver desde la perspectiva del cliente en qué nivel se encuentra su satisfacción sin importar si el desempeño al interior de la empresa ha sido el mismo, porque aquello que antes fue novedoso e innovador para el cliente hoy es algo que se debe hacer para no caer en la insatisfacción. Logística es un área que tiende a cruzar fácilmente la línea de la satisfacción y la insatisfacción, por esto es necesario innovar en los servicios logísticos para atraer, acercar y retener al cliente.
- *Análisis financiero*: Por medio del análisis de los estados de balance general, pérdidas y ganancias y flujo de caja se puede determinar de forma aislada algunos ítems que son de gran impacto para la compañía.

Este análisis es necesario, porque aunque no tiene un impacto directo sobre el cliente si puede estar reflejando síntomas de problemas u oportunidades de mejora en la compañía. Indirectamente malos resultados financieros si afectan a los clientes porque llevan a las empresas a aumentar precios, reducir calidad de productos, empaques y servicios logísticos entre otras medidas en el afán de reducir los costos.

b. *Cuáles podrían ser las causas?* Para el análisis causal se sugiere:

- *Análisis pareto*: Es un análisis muy común e importante porque ilustra el peso que tienen algunos factores dentro de los resultados de un sistema. Describe de forma relativa como una minoría de entradas representa una mayoría de salidas y esto es útil para enfocarse en ciertos puntos e identificar causas de problemas o éxitos.

En logística el análisis pareto es ampliamente utilizado en los inventarios (clasificación de inventarios ABC), pero puede utilizarse también para detectar causas de retraso, problemas de calidad, causas de insatisfacción del cliente, entre otras.

- *Value stream mapping de alto nivel*: El VSM utiliza técnicas gráficas y datos de tiempos (u otras medidas que se consideren importantes) para capturar visualmente la suma de actividades conjuntas realizadas en la cadena de suministro de un producto específico. El VSM de alto nivel es un VSM sin mucho detalle, que permite visualmente conocer las operaciones principales que se realizan en la cadena de suministro de un producto específico y sus interacciones.
- *Diagrama SIPOC*: Es una herramienta que sirve para documentar simplificada los procesos que se dan desde el proveedor hasta el cliente (15). Sus siglas vienen de:
  - Suppliers – proveedores: Pueden ser entradas de otros procesos internos o bien otras empresas.
  - Inputs – entradas: Lo que utiliza el proceso procedente de los proveedores
  - Process – proceso: Es el proceso en sí, descompuesto en sus etapas
  - Outputs - salidas: Salidas a otros procesos u organizaciones externas
  - C: Customers – clientes de las salidas (internos o externos)

Logísticamente esta herramienta es muy importante ya que muchas actividades logísticas no se toman en consideración como parte importante del proceso y pueden llegar a ser la causa del principal



problema en el desempeño. Entre las operaciones logísticas más comunes tenemos:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibir órdenes de pedido</li> <li>• Recibir productos (MP, insumos)</li> <li>• Almacenar</li> <li>• Alistamiento de pedidos</li> <li>• Empacar</li> <li>• Paletizar</li> <li>• Mover productos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar embarques</li> <li>• Realizar órdenes de compra</li> <li>• Planear equipo de transporte</li> <li>• Planeación de rutas</li> <li>• Entregar productos</li> <li>• Facturar</li> <li>• Manejo de documentos (facturas, remisiones)</li> </ul> |
|---|--|

En logística un error no corregido a tiempo en alguna de estas operaciones es un defecto que va a llegar al cliente final, acarreando consecuencias económicas y/o que afectan la imagen y nivel servicio de la compañía. De allí la importancia de reconocer estas actividades dentro del diagrama.

- *Análisis de requerimientos CTQ (críticos para la calidad):* Los requerimientos del cliente son lo principal y mínimo que una empresa debe cumplir para mantenerse en el negocio.

Las actividades que causan los problemas críticos de calidad para el cliente (CTQ) y crean el mayor tiempo de retraso en cualquier proceso ofrecen grandes oportunidades de mejoramiento en costo, calidad, y lead time.

- c. *Qué se puede hacer para lograr el objetivo de la empresa?* Esta pregunta se responde combinando herramientas como la voz del cliente, el benchmarking, QFD y la matriz XY.

De la misma forma como se determinaron los problemas es posibles encontrar las soluciones. Es útil usar la voz del cliente y el benchmarking en la matriz QFD para buscar de forma creativa satisfacer las contradicciones que allí se representan.

- *QFD:* El despliegue de la función de calidad es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes (la voz del cliente) y las traduce en características técnicas y operativas satisfactorias (17). Este enfoque puede ser aplicable no solo al desarrollo de un producto, sino también al desarrollo o diseño de operaciones y servicios.

En la matriz se pueden identificar las prioridades o aspectos de mejora tanto propios como de la competencia a través del benchmarking, lo que conduce a un mejor diseño de estrategias partiendo desde el concepto del diseño para logística (DFL), marketing, producción y demás funciones hasta llegar a logística.

En logística la principal contradicción en un modo general será tener bajos costos con alto nivel de servicio.

Como características importantes de QFD dentro del modelo están:

- Para satisfacer el cliente, los objetivos deben estar alineados en todas las áreas funcionales de la empresa a través de la cadena de valor.
  - Se caracteriza por ser una herramienta de análisis que presta especial atención a los elementos cualitativos.
- *Matriz XY*: Presenta las prioridades de acuerdo a consideraciones de la voz del cliente y la voz del negocio.

Las variables de entrada a analizar son las X y las Y son las variables de salida, las cuales tienen un cierto peso de acuerdo a su importancia. Es un proceso de ponderación donde se le asigna un puntaje a cada variable de salida y se evalúa el impacto de las variables de entrada sobre las variables de salida.

En logística se pueden dar como variables de entrada: Espacio para inventario, calidad de empaque, diseño de empaque, administración de inventario, proveedor de transporte, proceso de alistamiento, etc; que pueden incidir en variables de salida como: Nivel de servicio, costo logístico, calidad y cumplimiento, entre otras.

***Etapa 2. Análisis de recursos:*** En esta etapa es necesario comisionar un grupo idóneo de personas para que realice un análisis económico y de restricciones para las alternativas planteadas en la etapa 1. Las herramientas, preguntas y resultados de esta etapa se ilustran en la Figura 15.

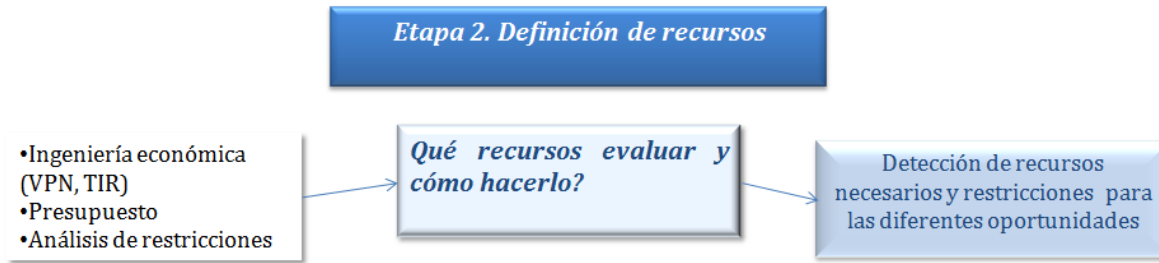


Figura 15. Representación de la etapa de definición de recursos

La pregunta que fundamentalmente se busca responder aquí es:

a. *¿Qué recursos se deben evaluar y cómo hacerlo?* Los recursos a evaluar varían en cada alternativa porque requieren de diferentes inversiones y generan diferentes beneficios, costos ó ahorros. Lo importante es medir todas las alternativas en términos económicos. Teniendo en cuenta esto se sugieren las siguientes herramientas para el análisis de recursos:

- *Herramientas de ingeniería económica:* Haciendo uso de herramientas como VPN (valor presente neto) se puede determinar el valor de un proyecto hoy de acuerdo a la inversión requerida, tasa de interés ( $i$ , TREMA), tiempo de recuperación de la inversión, horizonte del proyecto y flujos de dinero (negativos y/o positivos) por concepto de inversiones, costos, beneficios o ahorros.

El cálculo de la TIR (tasa interna de retorno) y el VPN ayudan a seleccionar la prioridad en los proyectos, aunque se recomienda principalmente el VPN. En algunos casos de acuerdo a la magnitud del proyecto se hace necesario también un análisis de sensibilidad y riesgo.

- *Presupuesto:* La elaboración de un presupuesto claro del proyecto permitirá a la empresa ver su capacidad de inversión de acuerdo a lo establecido.

En logística la elaboración de un presupuesto debe evidenciar los cambios que se esperan detectar financieramente con la inversión en el proyecto. Un proyecto logístico afecta principalmente rubros como ventas (precios, promociones, volumen), devoluciones en ventas (errores, daños, etc) y costos de almacenamiento, inventarios, manejo de materiales, transporte, seguros, entre otros como se presenta en la Figura 21 del caso ilustrativo de la aplicación del modelo LSSL.

- *Análisis de restricciones:* En el campo logístico de acuerdo al tipo de proyectos que se consideren se pueden encontrar restricciones de diferentes tipos como legales, socioculturales y de planeación entre otras.

Como ejemplo de de lo anterior para el caso de nuevas instalaciones (plantas, CEDI, almacenes) en una región deben tenerse en cuenta aspectos como: Permisos para localización de plantas, costos de mano de obra en la región, organización vial, infraestructura, sistemas de seguridad, planes de ordenamiento territorial, impuestos, facilidad de entrada de inversión extranjera, facilidad de salida de capital, recursos que se requieren de la región, disponibilidad de medios de comunicación, aspectos religiosos y culturales que puedan afectar el desempeño de la empresa, entre otras.

Concluyendo esta etapa, para la empresa deben ser claros los recursos y restricciones de las diferentes oportunidades detectadas en la etapa 1.

***Etapa 3. Selección del proyecto y desarrollo de su propuesta:*** Aquí la gerencia juega un rol fundamental en la toma de decisiones en cuanto a la necesidad e importancia de aprobar o no los proyectos que pudiesen resultar del análisis.

Es definitivo que la gerencia de acuerdo a la visión y planeación avalará este tipo de proyectos, a los cuales debe brindar su total apoyo y compromiso en su continuidad. En este punto es posible discutir o reevaluar las alternativas en el caso que queden dudas en el proceso, de ser así, es necesario regresar a las etapas previas para revisar si hubo errores.

Cuando son inversiones de un valor muy alto se recomienda realizar un análisis del riesgo que puede correr la empresa con la inversión, especialmente en decisiones de planeación estratégica como puedan ser apertura de nuevas instalaciones, creación de una nueva línea de productos, ampliaciones de capacidad, tecnología de punta, entre otras.

Las preguntas clave a responder en esta etapa y las herramientas que responden a estas preguntas se ilustran en la Figura 16 y se desglosan a continuación son:

- a. Qué oportunidad (es) se debe (n) atender primero?*

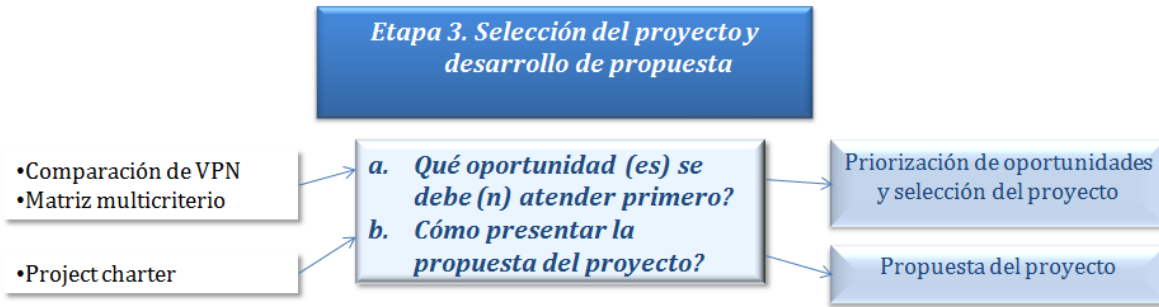


Figura 16. Representación de la etapa de selección del proyecto y desarrollo de la propuesta

- *Comparación de VPN:* Se priorizan las alternativas (oportunidades) de acuerdo a su VPN de mayor a menor, siendo el mayor valor el de la mejor alternativa. En caso de que no se presenten diferencias significativas entre los VPN de las diferentes alternativas se hace uso de la matriz multicriterio.

- *Matriz multicriterio:* Es una herramienta utilizada para la toma de decisiones en base a factores cualitativos o múltiples factores no homogéneos que intervienen en un proceso. Esta herramienta se recomienda cuando no se encontraron diferencias significativas en el VPN de los proyectos analizados y por lo tanto se establecen otros criterios útiles que permitan tomar la mejor decisión.

Lo principal en esta herramienta es identificar correctamente los factores relevantes para comparar los diferentes proyectos y los criterios de selección. En el caso de los factores estos se eligen y se determina su escala de puntuación (ej: puntaje V = de 1 a 5). Para los criterios, estos se establecen con su ponderación (P) de acuerdo a la importancia relativa del criterio.

Al finalizar la matriz multicriterio es muy claro el orden de selección de los proyectos de acuerdo al puntaje obtenido (Tabla 12). Una mala estipulación de factores y criterios puede llevar a un orden de prioridades erróneo.

Tabla 12. Matriz multicriterio

	Criterios						Total (Σ)
	1 (P1)		2 (P2)		3 (P3)		
Factores	V	VxP	V	VxP	V	VxP	
1							
2							
....							

b. *Cómo presentar la propuesta del proyecto?* Para organizar la información resultado de las etapas anteriores y establecer un orden para el proyecto se utiliza la siguiente herramienta:

- *Project Charter*: Finalmente con la selección del proyecto se realiza un resumen que recopile la información importante de todo lo revisado anteriormente.

Normalmente la propuesta debe incluir:

- Número de personas vinculadas al proyecto, con sus nombres y tiempo de dedicación.
- Determinación de planes y objetivos (definición clara del objetivo, fases del proyecto y sus respectivas fechas de entrega).
- Medida financiera del proyecto ó lo que se espera ganar con su desarrollo (VPN del proyecto).

Es conveniente recomendar que el objetivo del proyecto debe ser muy claro y específico, esto es para evitar la posibilidad de desviar la ejecución del proyecto al cumplimiento de un objetivo ambiguo que no permita lograr los resultados esperados.

Un ejemplo de Project charter se presenta en el caso de estudio (Tabla 26).

### **3.3.2. Fase de medición**

El objetivo en esta etapa es recopilar los datos que describen la naturaleza del problema y su estado actual.

En la fase de definición se seleccionó un proyecto con un objetivo claro. En la medición se realiza la toma de información necesaria en los puntos de interés para lograr el objetivo planteado en el proyecto.

Antes de empezar a medir se debe tener muy claro qué se debe medir, porque los procesos de medición y recolección de información pueden ser en ocasiones costosos, incómodos para las personas involucradas en la actividad a medir o difíciles de realizar.

En la tabla 13 se presentan las herramientas a utilizar en esta fase.

Tabla 13. Herramientas en fase de Medición

FASE DE MEDICIÓN		
Objetivo	Herramientas Six sigma	Herramientas Lean
Se busca conocer el estado actual de la empresa y tomar información del proceso bajo estudio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indicadores</li> <li>▪ Hojas de datos</li> <li>▪ Pareto</li> <li>▪ Medición de capacidad</li> <li>▪ NGT</li> <li>▪ Lluvia de ideas</li> <li>▪ Métodos estadísticos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreo</li> <li>• Gráficas de Control</li> <li>• Histogramas</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mapa de procesos</li> <li>▪ VSM</li> </ul>

El desarrollo del objetivo de la fase de medición se da en dos etapas:

- Etapa 1: Visión General
- Etapa 2: Determinación del enfoque y recolección de información

**Etapa 1. Visión General:** Aquí lo que se busca es tener una visión general de la compañía y del sistema logístico y una visión más detallada del tema particular del proyecto de acuerdo al objetivo establecido.

En esta etapa se busca responder la siguiente pregunta:

- a. *Cómo está la empresa logísticamente?* La metodología DMAIC es como un embudo donde a medida que se avanza en sus fases se va volviendo más específico y localizado el análisis. Las herramientas recomendadas para tener una mayor visión de lo que sucede y lograr el objetivo del proyecto se ilustran en la Figura 17.

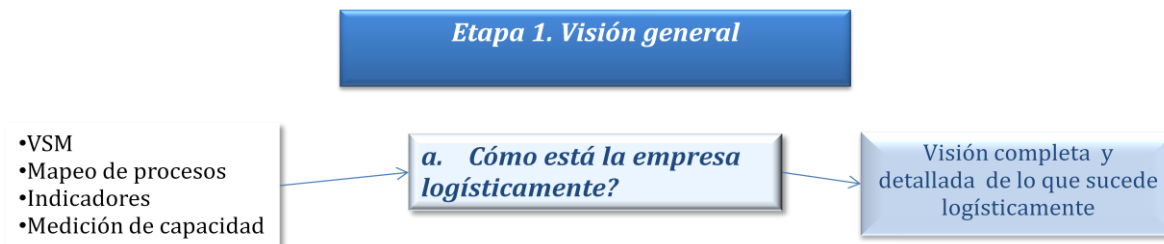


Figura 17. Representación de la etapa de visión general del sistema logístico

Las herramientas a utilizar son:

- *Value stream mapping*: El VSM utiliza técnicas gráficas y datos de tiempos, entre otros, para capturar visualmente la suma de actividades conjuntas realizadas en la cadena de suministro de un producto específico. Por consiguiente, el primer paso es seleccionar un producto o familia de productos donde su mejoramiento cree el mayor impacto económico para la compañía.

El VSM provee un claro entendimiento del proceso porque:

- Permite visualizar los múltiples niveles del proceso
- Resalta el desperdicio, cuellos de botella y sus fuentes
- Hace los puntos de decisión y mejoramiento visibles

El VSM debe ser una herramienta básica de protocolo administrativo porque ayuda a identificar las actividades que tienen valor en los ojos del cliente, las actividades que tienen valor para el negocio y las actividades que no agregan valor.

En logística el incremento del valor es punto crítico ya que actividades como contar, manipular, inspeccionar, mover, almacenar, retrabajar, firmar, entre otras, son actividades que no agregan valor, sin embargo algunas de ellas son consideradas por las empresas necesarias para la administración del negocio. Aquí es donde se puede innovar en tecnología, procedimientos y en general estrategias que eliminen estas actividades sin perderse el control y la calidad del proceso.

- *Mapeo de procesos o diagrama de flujo*: Es parecido al diagrama SIPOC pero mucho más detallado, por lo cual permite tener una mayor visión de la operación. El mapa de procesos ilustra claramente los pasos de hacer el proceso y es importante porque pone en evidencia situaciones o formas de operar que tienen un alto potencial de mejora. También es muy útil para detectar puntos de interacción y puntos de control en un proceso.

En logística se manejan dos tipos de flujo: de materiales e información, y entre ellos debe haber una clara sincronización, coordinación y coherencia, de lo contrario se incurren en errores y por ende posibles defectos. Exponer en un mapa estos dos flujos es de gran utilidad porque ayuda a establecer los



puntos donde puede haber pérdidas de información, confusión o necesidades de la misma.

- **Indicadores:** En el desarrollo y seguimiento de indicadores es fundamental mantener una forma estándar de recopilar su información y calcularlo, para poder realizar comparaciones periodo a periodo sobre una misma base.

En logística como se presentó en el capítulo 2 hay muchas mediciones que se pueden realizar de forma periódica con el fin de tomar el pulso a la operación. Sin embargo debe haber niveles de medición (Figura 18), es decir, empezar con medidas que abarquen una visión completa de la operación logística y a medida que se van detectando los cambios en estos indicadores de primer nivel, se va profundizando en indicadores de un menor nivel, que van siendo más específicos (nivel 2 y nivel 3).



Figura 18. Indicadores propuestos en cada nivel de análisis

### Indicadores de primer nivel

Se consideran en este nivel el lead time, DPMO, costo logístico y servicio al cliente. Estos cuatro indicadores se ponen en el nivel más alto porque miden elementos vitales para el desempeño logístico. En estos indicadores un resultado mejor del esperado o un resultado peor del esperado ameritan continuar moviéndose en los niveles de medición, porque están dando señales de que algo está funcionando de una forma no esperada.

- *Lead time:* Es un indicador que de forma general ayuda a medir el tiempo de respuesta al cliente y por ende velocidad y flexibilidad de los procesos. Es el tiempo que transcurre desde que se inicia el proceso (recepción de la orden del cliente) hasta que se termina (entrega del producto o servicio).

Logística es un área que incluye muchas actividades que no agregan valor al cliente pero toman un tiempo significativo realizarlas, por ende hay grandes oportunidades para mejorar este indicador.

- *DPMO:* El término six sigma se refiere a ejecución y busca menos de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), su forma de cálculo se presenta en el numeral 2.4.2.

Es necesario tener bien establecido y estandarizado lo que es un defecto y una oportunidad de defecto en logística para hacer un cálculo correcto del indicador. Dentro de logística podemos ver como defectos:

- No cumplimiento de alguno de los 8 deberes logísticos.
- Facturación mal elaborada (facturas incompletas, datos incorrectos, entre otras)
- Errores en la transferencia de información con los clientes y proveedores o entre áreas funcionales

Como oportunidades a defectos se pueden tener:

- Errores en el alistamiento
- Errores de facturación
- Errores de empaque
- Errores en transporte
- Errores en mantenimiento de recursos (equipos de movimiento de material, sistema de información, transporte, etc)
- Errores en ruteo
- Errores en transferencia de información interna

- Errores de coordinación (planeación de muelles de carga y descarga, disponibilidad de vehículos, disponibilidad de producto para cargar los vehículos de forma consolidada, disponibilidad de la documentación a tiempo, disponibilidad de recursos para el desarrollo de actividades, entre otras).
- *Costo logístico:* Este indicador es importante porque permite analizar la situación actual y también analizar si al mejorar el Lead time y el DPMO el costo está fluctuando de alguna forma y en qué proporciones. El costo y el nivel de servicio están ampliamente relacionados y lo que se pretende es determinar el nivel óptimo para que no se den situaciones como:
  - Una mínima variación en nivel el servicio represente un costo excesivo ó
  - Tener un costo bajo y una gran falencia en el nivel de servicio.

Las actividades que actúan como driver para el costo logístico son: Ordenamiento de materiales e insumos y administración de proveedores, transporte, almacenamiento, recepción y manejo de materiales y administración de inventario y su costo asociado de mantenerlo.

- *Indicador de servicio:* Aunque hay muchos indicadores de servicio el principal es el de pedidos perfectos, porque un pedido perfecto es aquel que cumple con los 8 deberes logísticos. Su forma de cálculo es:

$$\frac{\text{Número de pedidos entregados perfectos}}{\text{Número total de pedidos entregados}}$$

#### Indicadores de segundo nivel:

Los indicadores que se encuentran en este nivel permiten tener una visión más específica en aquellos puntos detectados importantes para el proyecto y a través de los indicadores de primer nivel.

- *Indicador de eficiencia en el ciclo del proceso:* Esta medida surge de comparar la cantidad de tiempo que agrega valor en logística y el lead time total.

$$\text{Eficiencia en el ciclo del proceso} = \frac{\text{Tiempo en que se agrega valor}}{\text{Lead time total}}$$

Si hay problemas con el Lead time seguramente este indicador también tendrá un valor bajo.

De acuerdo a la bibliografía consultada (15), Un proceso lean es aquel donde el tiempo que agrega valor en el proceso es más del 25% del total del lead time de ese proceso.

- *Indicadores de servicio:* En caso de que se de un mal valor en el indicador de servicio de primer nivel es necesario desplegarlo en indicadores de servicio para cada uno de los deber ser logísticos, esto con el fin de detectar que es lo que está afectando principalmente el servicio e imagen de la empresa.
- *Indicadores financieros:* Sirven para analizar donde se está viendo afectado principalmente el costo logístico.

Se observa a detalle cada uno de los costos logísticos de interés y se analiza su comportamiento con el fin de encontrar las fuentes de su variabilidad.

### Indicadores de tercer nivel o más

Son indicadores más operativos y pueden ser tantos como la empresa considere necesarios para medir su desempeño y obtener información.

Conociéndose el área donde están los mayores problemas se hacen aquí indicadores específicos, cuyo fin será ayudar a encontrar las causas reales del problema en el nivel operativo y mantener un monitoreo sobre las mismas.

Algunos indicadores estándar sugeridos en este nivel son aquellos presentados en el numeral 2.1.1. y adicional a estos se agrega el siguiente:

$$WIP = \text{tasa de producción} \times \text{Tiempo de flujo promedio}$$

Esta es la forma de determinar el tamaño del inventario en el proceso de acuerdo a la Ley de Little (18).

- **Medición de capacidad:** La medición de la utilización de capacidad refleja el uso que se da a la infraestructura y recursos al igual que su flexibilidad. Este cálculo y su análisis también ayudan a visualizar los cuellos de botella en la cadena de suministro.

Para incrementar la capacidad se pueden utilizar estrategias en logística como:

- Balancear suministro-demanda
- Brindar buen servicio interno y externo
- Remover ineficiencias operativas
- Modificar unidades de empaque, almacenamiento y movimiento
- Realizar una planificación de materiales y de producción adecuada
- Entrenar al personal en todas las funciones (alistamiento, manejo de recursos, control bodega, etc)

**Etapa 2. Determinación del enfoque y recolección de información:** De la etapa anterior se obtiene una visión más completa y detallada que permite reconocer los puntos de la cadena donde hay potencial de mejora. En esta etapa se buscará determinar de forma clara aquellas actividades donde se debe enfocar la acción del proyecto, para lo cual las preguntas a responder en esta etapa se ilustran en la Figura 19 y son:

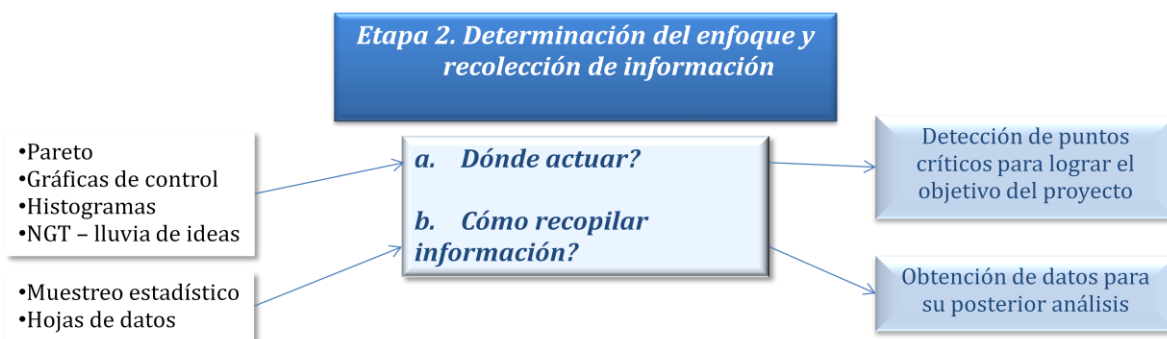


Figura 19. Etapa de determinación del enfoque y recolección de información

- a. ¿Dónde actuar?* Para dar un enfoque definitivo en la búsqueda de causas y soluciones que lleven a cumplir el objetivo del proyecto se recomiendan las siguientes herramientas:

- *Análisis Pareto:* Es el mismo análisis recomendado en el punto de definición, simplemente su aplicación será más específica de acuerdo al lugar ó lugares donde se consideran necesarios los análisis.

Como un ejemplo de ello se puede plantear un análisis pareto en los pedidos de la siguiente forma: Se ha detectado que los pedidos llegan a la empresa desordenadamente, presentan diferentes patrones y se atienden de la misma forma. Aquí se vuelve importante clasificar los pedidos de acuerdo a alguna característica, como pueden ser: volumen de pedido, valor de pedidos, localización del cliente, tipos de clientes entre otras. Posteriormente se realiza el pareto para la característica seleccionada con el fin de determinar las clasificaciones de los pedidos y modificar la forma de atenderlos.

De la clasificación de pedidos puede depender el lead time para las clasificaciones establecidas, formas de alistamiento, equipo de transporte, formas de empaque, unidad de venta, entre otras.

Es de resaltar que en logística la principal aplicación del principio de Pareto ha sido para clasificación de inventarios, donde el sistema de clasificación ABC divide los artículos del inventario en tres grupos distintos:

A: Alto volumen de producto, valor o importancia – aproximadamente 15% de los artículos

B: Moderado volumen de producto, valor o importancia – aproximadamente 35% de los artículos

C: Bajo volumen de producto, valor o importancia – aproximadamente 50% de los artículos

- *Gráficas de control:* La Gráfica de Control es un tipo especial de gráfica que brinda la posibilidad de interpretar información derivada de un proceso creando una imagen de las fronteras o límites de variación permisibles.

El gráfico de control muestra cuando las fronteras de variación se sobrepasan y cómo consecuencia se analizan aquellos puntos para un posterior análisis causal.

Pueden darse dos tipos de gráficas de control, por atributos o por variables.

Atributos (cartas de control p, c y u):

- La gráfica p es para controlar la fracción de disconformes, la c es la grafica de control de cantidad de no conformes y la u para el control de disconformidades por unidades.
- Permiten resumir rápidamente varios aspectos de la calidad en el servicio logístico, clasificando el mismo en conforme o no conforme, basado en las especificaciones de calidad.

VARIABLES (Gráficas de control  $\bar{X}$ , R,  $\bar{X}$ -R, MR):

- Las gráficas de control  $\bar{X}$  y R se usan principalmente para monitorear la media y la variabilidad y la gráfica MR es para rangos móviles.
- Su adecuado uso y frecuente revisión pueden advertir sobre la presencia de problemas antes de obtener productos o servicios fuera de especificaciones.

En la Tabla 14 se presentan algunos usos que se pueden dar a los gráficos de control en logística.

- *Histogramas*: Es un gráfico de barras que presenta la frecuencia de valores que se hayan medido. En el eje x se presentan los valores de las variables y en el eje y las frecuencias.

Es un método sencillo que permite ver de forma gráfica y rápida la variable que tiene mayor frecuencia, detectar si hay algún tipo de distribución en los datos, si existe una moda, si se puede tratar de un análisis de multimodal y sesgos en los datos.

- *NGT (Nominal group technique)*: Es un método estructurado para realizar lluvia de ideas donde se motiva a que todo un grupo contribuya. El propósito de esta herramienta es determinar qué información debe ser recopilada para su posterior análisis.

El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca y aclara el tema para la lluvia de ideas.
- Cada miembro del equipo piensa y escribe tantas ideas como le sea posible en un tiempo establecido (5 a 10 min).

- Se hacen rondas donde cada persona va dando de a una idea de las escritas. No se permite discusión, preguntas o aclaraciones. Este proceso se repite hasta que se termina la generación de ideas.
- Se discuten las ideas. Se hacen aclaraciones y explicaciones de la lógica o análisis que conllevó a la idea.
- Se realiza una priorización de ideas con técnicas como multivoto.

Tabla 14. Aplicaciones de los gráficos de control en logística (19)

Métrica	Datos	Unidad	M. estadístico
<b>Finanzas</b>			
Costos por operación	Costo total/número total de operaciones	\$ por actividad	Gráficas Xbarra y R
Costo por transacción	Costo de transacción	\$ por transacción	Gráficas Xbarra y R
Costo por unidad	Costo total / número total de piezas	\$ por pieza	Gráficas Xbarra y R
Costo de inventario	Costos de almacenamiento, impuestos, obsolescencia, seguros, etc.	%	Individual, MR
Gastos operativos	costo inventario + transporte+distribución+administrativos	%	Pareto
Disminución de inventario	Dinero perdido por scrap, deterioro, robo, obsolescencia, etc	%	Pareto
Margen de utilidad neto	Utilidad neta después de impuestos/ventas	%	Tendencias, MR
Costo de transporte por unidad	Costo total de transporte/número total de unidades	\$ por unidad	gráfica u, tamaño variable de muestra
<b>Calidad</b>			
Precisión en el ingreso de datos	# errores / # de transacciones	%	Gráfico p con tamaño de muestra variable
Precisión de pronósticos	Desviación media absoluta o media del cuadrado del error (se refiera al error entre el pronóstico y lo real	%	Gráfico p con tamaño de muestra variable
Entregas a tiempo	# entregas a tiempo/# total de entregas	% no conformes	Gráfico p con tamaño de muestra variable
Embarques a tiempo	# embarques a tiempo/# total de embarques	% no conformes	Gráfico p con tamaño de muestra variable
<b>Recursos</b>			
Número de trailers o contenedores vacíos	# total de contenedores vacíos/ # total de contenedores	%	Gráfico p con tamaño de muestra variable
Utilización de espacio	espacio utilizado/espacio disponible	%	Gráficos Xbarra y R
Tasa de alistamiento	piezas/empleador, órdenes/empleador en un periodo de tiempo	piezas por empleado, órdenes por empleado	gráfica u, tamaño variable de muestra
Tasa de embarques	Número de piezas u órdenes embarcadas/# empleado por unidad de tiempo	piezas u órdenes embarcadas por unidad de tiempo por empleado	Gráfica individual y MR
<b>Inventarios y tiempo de ciclo</b>			
Días en inventario por artículo	Unidades en inventario/promedio de uso diario	días	Gráficos Xbarra y R
Tasa de throughput	WIP/tiempo de ciclo	unidades/tiempo	Gráficos Xbarra y R

b. *Cómo recopilar datos?* Para la recolección de datos se recomiendan las siguientes herramientas:



- *Muestreo estadístico*: El muestreo es una buena técnica de recolección de información, donde de acuerdo al uso que se quiera dar a los datos se determina la aleatoriedad o criterios de medición. Con los datos obtenidos en un muestreo se pueden realizar muchos análisis posteriores, lo importante es tener claro que es lo que se quiere analizar y con qué fin, además de que las mediciones se deben tomar de forma adecuada con el propósito de no distorsionar los resultados.

- *Hojas de datos*: Las Hojas de datos son impresos utilizados para reunir datos que se consideran importantes, y que facilitan el posterior análisis de los mismos.

En este método de recolección de información deben ser muy claros los datos a registrar porque en ocasiones se recopila información no necesaria que toma tiempo y que a veces no es tan sencilla de medir, como por ejemplo toma de tiempos de operaciones logísticas (movimientos del montacargas, ubicación y retirado de estibas, empaque, etc).

La preparación de una hoja de datos debe ser bien planeada de tal forma que con la menor cantidad de datos posibles se pueda lograr obtener la mayor información útil para el análisis. También se debe evitar dejar bajo supuesto o a la imaginación información complementaria importante como unidades de medida.

### 3.3.3. Fase de análisis

La fase de análisis busca responder la pregunta representada en la Figura 20.

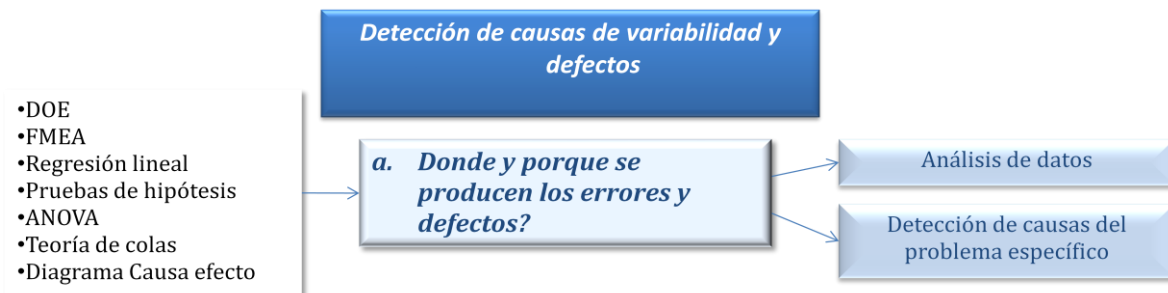


Figura 20. Etapa de detección de causas de variabilidad y defectos

- a. *Donde y porque se producen los errores y defectos?* Para esto se sugiere el uso de herramientas Six sigma de análisis causal principalmente, que se presentan en la Tabla 15 como son:

Tabla 15. Herramientas en la fase de análisis

FASE DE ANÁLISIS		
Objetivo	Herramientas Six sigma	Herramientas Lean
Se busca responder la pregunta de, dónde y porqué se producen los defectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOE</li> <li>▪ FMEA</li> <li>▪ Regresión lineal</li> <li>▪ Pruebas de hipótesis</li> <li>▪ ANOVA</li> <li>▪ Teoría de colas</li> <li>▪ Diagrama Causa efecto</li> </ul>	

- *Diagrama causa efecto:* Es una representación gráfica que pretende mostrar la relación causal de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado.

Para realizar un buen diagrama causa efecto se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Definir el efecto cuyas causas quieren ser identificadas
- Identificar posibles causas que contribuyen al efecto a través de herramientas como lluvia de Ideas, NGT ó proceso Lógico
- Identificar causas principales
- Añadir causas secundarias a cada rama principal
- Añadir causas subsidiarias a las causas secundarias hasta llegar a causas raíz
- Comprobar la cadena causal

En logística los principales efectos son medidos en función del nivel servicio y del costo, y de allí pueden resultar posteriores análisis causa – efecto más específicos.

- *Pruebas de hipótesis:* Las pruebas de hipótesis son utilizadas para hacer inferencias sobre un parámetro de una población, por ejemplo: el nivel de cumplimiento. Cualquier situación puede ser sujeta a pruebas de hipótesis,

lo importante es cumplir con las asunciones necesarias para que la inferencia se realice correctamente.

Lo que se busca es probar una hipótesis sobre un parámetro  $\theta$ , cuando hay una noción preconcebida acerca de su valor (muestras realizadas). Hay dos teorías o hipótesis involucradas en este tipo de estudio: La hipótesis propuesta por el experimentador ( $H_0$ ) y la negación de esta hipótesis ( $H_1$ ).

La decisión se toma observando el valor de algún estadístico cuya función de distribución de probabilidad sea conocida, bajo la asunción de que el valor nulo del parámetro es el verdadero valor de  $\theta$ . Esta variable es llamado estadístico de prueba. Al final del estudio a través de la Prueba de significancia se determina si se rechaza o no  $H_0$ .

- *Regresión lineal*: El análisis de regresión investiga la relación estadística que existe entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes (X, Z....). Para poder realizar esta investigación, se utiliza la fórmula de relación lineal.

En la regresión lineal se busca probar la siguiente hipótesis:

$H_0$ : No hay relación entre la variable  $y$  y la variable  $x$

$H_1$ : Hay relación entre la variable  $y$  y la variable  $x$

En logística múltiples análisis se pueden realizar usando esta herramienta, como un ejemplo tenemos en análisis de la variación en el costo de operación (Y) debido a la variación en los km-vehículo (X).

También puede darse el caso especial de análisis de variables categóricas (20) que solo pueden tomar uno o dos valores. Por ejemplo, el cliente está satisfecho o no está satisfecho.

Este modelo de regresión logístico está basado en el odds-ratio.

$$\text{odds ratio} = \frac{\text{probabilidad de éxito}}{1 - \text{probabilidad de éxito}}$$

La regresión logística está basada en el logaritmo natural (Ln) del odds-ratio estimado.

Donde  $\text{Ln}(\text{odds ratio estimado}) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$

- **FMEA:** Es una metodología de trabajo en grupo muy estricta para evaluar un sistema, un diseño, un proceso y/o un servicio e identificar potenciales modos de falla, determinar su efecto en la operación e identificar acciones para mitigar las fallas.

Para cada fallo, se hace una estimación de su efecto sobre todo el sistema y su seriedad. Además, se hace una revisión de las medidas planificadas con el fin de minimizar la probabilidad de fallo, o minimizar su repercusión.

El análisis puede ser muy técnico (cuantitativo) o no (cualitativo), y utiliza tres factores principales para la identificación de un determinado fallo. Éstos son:

- **Ocurrencia:** frecuencia con la que aparece el fallo
- **Severidad:** la seriedad del fallo producido
- **Detectabilidad:** si es fácil o difícil detectar el fallo.

Con el fin de llegar a conclusiones válidas, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No todos los problemas son importantes. El FMEA permite categorizar los fallos, pero antes se debe hacer una preselección.
  - Es necesario conocer el cliente, en su más amplio sentido, con el fin de determinar las consecuencias del fallo.
  - Hay que tener una orientación a la prevención. La razón principal del FMEA es detectar las posibles causas de fallo antes de que ocurran.
- **Anova (Análisis de varianza):** Es una herramienta utilizada para realizar comparaciones de más de dos medias poblacionales o de tratamientos y utiliza la siguiente prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

$H_a: \mu_i \neq \mu_j$  para al menos un par (i,j)

Con los datos de las muestras se determinan la suma de los cuadrados medios de los tratamientos (SMTr) y del error (SME), que sirven para calcular el estadístico de prueba F que permite determinar si se rechaza o no la hipótesis nula. El estadístico F es la relación entre SCTr/SME.

Los supuestos que se deben cumplir para poder aplicar esta prueba son:

- Los residuos tienen una distribución normal alrededor del cero
- Las poblaciones o tratamientos son independientes entre si (prueba de aleatoriedad Run test)
- Las medias de las distribuciones de los tratamientos son normales (kolmogorov) con la misma varianza  $\sigma^2$  (test barlett, levene).

En logística un ejemplo de aplicación puede estar dado al quererse comprobar si el retraso promedio en las horas de entrega presenta diferencias significativas realizando el reparto a los clientes desde cuatro almacenes diferentes. Lo que se pretende determinar es si hay diferencias significativas entre los retrasos de los diferentes almacenes, y de ser así seleccionar el más conveniente (el que minimice los retrasos).

• *Diseño de experimentos*: Es una de las herramientas más importantes y poderosas en six sigma y también de las más complejas en su uso.

En el diseño de experimento una o varias series de pruebas son llevadas a cabo, en las cuales se realizan cambios intencionados a las variables de entrada de manera que se pueden observar e identificar cambios correspondientes en las variables respuestas. Hay tres fases importantes en el diseño de experimentos que son: la formulación del problema, el diseño de experimentos y el análisis de los datos colectados.

En la *formulación del problema*, el problema de estudio de nuestro interés en logística y al cual se le quiere dar solución puede ser: caracterización ó mejora de un proceso, diseño de un sistema, encontrar alternativas menos costosas, o fijar parámetros de un proceso para que esté siempre en control.

Entre los objetivos generales que pueden plantearse para el estudio están:

- Determinar cuáles de los factores influyen más en la o las variables respuestas.
- Determinar a qué niveles deben ubicarse los factores que afectan la variable respuesta para obtener el resultado deseado en la misma.
- Reducir la variabilidad de la variable respuesta (Y)
- Minimizar el efecto que los factores incontrolables tienen sobre la variable respuesta

En el *diseño del estudio* se debe escoger la variable respuesta o dependiente, definir cuales variables de entrada tienen influencia en la variable respuesta (**factores**) (es útil utilizar el diagrama causa efecto para describir la relación), cuales factores van a variar en el experimento, los rangos sobre los cuales estos factores variarán y los valores específicos a los cuales el experimento va a ser llevado a cabo. Hay que determinar que técnicas se utilizarán para controlar o medir los efectos de estas variables de entrada y la información que la variable respuesta va a dar acerca del problema en estudio (El promedio o la desviación estándar de la variable pueden variables respuestas).

Deben considerarse las restricciones de costos, tiempo y cualquier otra restricción física. También se debe definir el número de observaciones a ser tomado, el orden de la experimentación y el método de aleatorización a ser escogido. Se debe formular el modelo estadístico, que debe ser entendido y analizado por medio de las técnicas del análisis de varianzas (ANOVA) y por ende se deben cumplir sus asunciones mencionadas anteriormente.

En el *análisis de los datos* el diseño de experimentos puede ser usado en diferentes situaciones:

- Escoger entre alternativas (Diseño de experimentos comparativos): Aquí se consideran diseños con un solo factor con efectos fijos y aleatorios cuando lo que se quiere es un problema de comparación; bloques aleatorios cuando se tiene un factor que no puede permanecer en un valor constante en el experimento pero es controlable y medible; cuadrados latinos y grecolatinos cuando el número de factores controlables y medibles son dos o tres.

- Escoger los factores claves que afectan la respuesta. Como en el caso de los diseños factoriales y factoriales fraccionados (Diseños de tamizado).
  - Modelos de Superficie de Respuesta de un proceso: una vez se conocen los factores claves que afectan la respuesta, los nuevos objetivos pueden ser: Lograr un objetivo o valor nominal, maximizar o minimizar la respuesta, reducir la variación, hacer el proceso más robusto ó alcanzar múltiples objetivos.
- *Teoría de colas:* Es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Estas se presentan cuando "clientes" (piezas, estibas, personas, actividades, etc) llegan a un lugar demandando un servicio a un "servidor" (estación, persona, recurso, etc) el cual tiene cierta capacidad de atención. Si el servidor no está disponible inmediatamente el cliente espera formándose una línea de espera (cola).

Normalmente en cualquiera de los sistemas de teoría de colas existen dos tipos de costo, el costo asociado a la espera de los clientes y el costo asociado a la expansión de la capacidad de servicio (asociado al nivel de servicio), y con estos se busca optimizar el costo total del sistema.

En logística se puede dar uso a esta herramienta en actividades como empaque, uso de recursos para movimiento de materiales, o cualquier otra donde se presenten esperas.

#### **3.3.4. Fase de mejoramiento**

Al finalizar la fase de análisis y antes de empezar a realizar implementaciones, se debe responder la siguiente pregunta:

- a. El proyecto seleccionado y su objetivo es coherente con el objetivo de la empresa?* Aquí es importante cuestionar si los hallazgos de las fases anteriores corroboran la necesidad del proyecto y apoyan su objetivo, porque en caso de no ser así es posible que el proyecto no impacte de la forma esperada en el objetivo de la empresa.

El proyecto es justificable si realmente al integrarse a la operación de la empresa reditua en el valor económico esperado, de lo contrario se debe replantear si se sigue adelante o no.

Las herramientas sugeridas en esta fase se clasifican en la Tabla 16 y se desarrollan en dos etapas:

- Etapa 1: Generación de propuestas de mejoramiento
- Etapa 2: Implmentación

Tabla 16. Herramientas en la fase de mejoramiento

FASE DE MEJORAMIENTO		
Objetivo	Herramientas Six sigma	Herramientas Lean
Mejorar el proceso a través de acciones para eliminar o controlar las causas del problema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simulación</li> <li>▪ FMEA</li> <li>▪ Ingeniería de proyectos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5S's</li> <li>▪ Trabajo estandarizado</li> <li>▪ TPM</li> <li>▪ Poka Yoke</li> <li>▪ Flujo nivelado</li> <li>▪ JIT - sist. Pull - kanban</li> <li>▪ Control visual</li> <li>▪ Milk runs</li> <li>▪ Frecuencia y tamaño de lote</li> <li>▪ VSM</li> <li>▪ Capacitación</li> </ul>

***Etapa 1: Generación de propuestas de mejoramiento.*** En esta etapa se sugieren herramientas para el análisis de mejoras en el sistema logístico, las cuales serán seleccionadas de acuerdo al objetivo del proyecto. Las herramientas sugeridas se esquematizan en la Figura 21 y son:

- ***Simulación:*** Es una de las principales herramientas para análisis y mejoramiento de sistemas logísticos.

Muchos aspectos de los sistemas logísticos y de la cadena de suministro pueden ser convenientemente estudiados con ayuda de modelos matemáticos, donde se encuentran involucrados elementos que son fácilmente caracterizables con ayuda de variables cuantitativas. Pero aun cuando sea posible establecer estas variables cuantitativas para describir los distintos elementos que intervienen en un sistema, la complejidad de las



interrelaciones que presentan estos elementos hace compleja la construcción y posterior tratamiento de estos modelos.

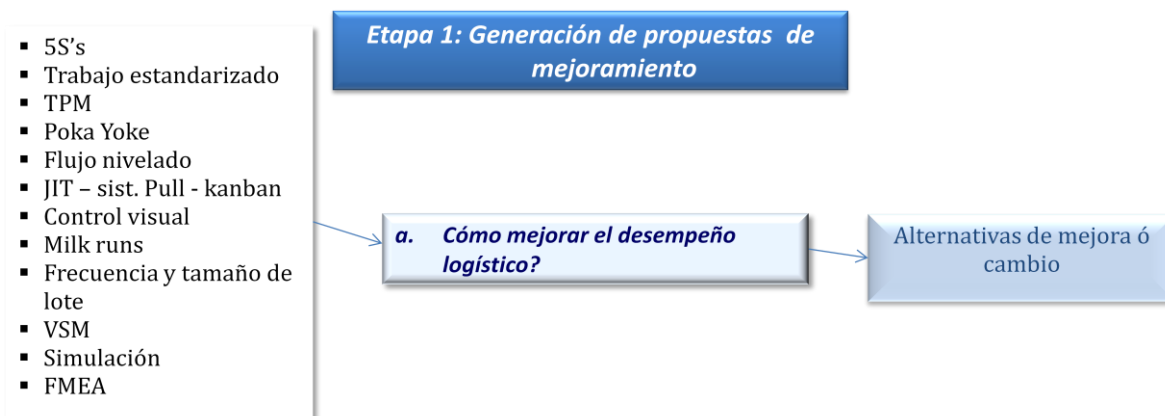


Figura 21. Etapa de generación de propuestas de mejoramiento

En logística la simulación es muy útil para determinar el uso de recursos, mejoramiento o pruebas de layout, reducción de tiempos de movimiento, determinación de WIP, establecimiento de tamaños de lote, análisis de procesos de carga y descarga, empaque, estibado, sistemas de movimiento de materiales, entre otras alternativas que a través de modelos matemáticos son difícilmente integrables para lograr un objetivo global en la operación.

La simulación permite analizar el desempeño integrado de las operaciones, y esto contribuye notablemente en la estrategia de alineación.

En el caso de herramientas de simulación como Promodel, ha sido desarrollada específicamente con el fin de ayudar a mejorar el diseño y la operación de los sistemas (logísticos, manufactura) involucrando los recursos utilizados y los eventos e interacciones que se presentan típicamente en este tipo de procesos.

En ProModel, software de simulación, todo se ajusta al paradigma de estaciones, entidades, procesamiento, llegadas y Recursos. Cualquier sistema de manufactura, logística y servicio puede ser modelado utilizando este programa.

- **FMEA:** Es la misma herramienta mencionada en la etapa de análisis, pero en esta etapa se utiliza para la generación de propuestas la columna de

acciones recomendadas y posterior a la implementación se evalúa nuevamente el RPN.

- *TPM (Mantenimiento productivo total)*: El TPM tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada.

En su enfoque logístico esta herramienta es útil en el mantenimiento de recursos de movimiento de materiales (montacargas, bandas transportadoras, grúas viajeras, etc), equipo de oficina, sistemas de información y equipo o flota de transporte. Daños inesperados en alguno de estos recursos generan retrasos en la planeación logística y consecuentemente puede llevar a incumplimientos al cliente.

Los principios en que se fundamenta el Mantenimiento de Calidad son:

- Clasificación de los defectos e identificación de las circunstancias en que se presentan, frecuencia y efectos.
- Realizar un análisis físico para identificar los factores del equipo que generan los defectos de calidad en el servicio.
- Establecer un sistema de inspección periódico de las características críticas.
- Preparar matrices de mantenimiento y valorar periódicamente los estándares.
- *Control visual*: Los controles visuales están íntimamente relacionados con los procesos de estandarización. Un control visual es un estándar representado mediante un elemento gráfico o físico, de color o numérico y muy fácil de ver.

Dentro del flujo logístico es muy importante manejar visibilidad en las diferentes zonas de trabajo, procesos, recursos, entre otras.

Para mejorar la visibilidad en las bodegas se recomiendan las siguientes acciones:

- Identificación de zonas y su clara delimitación para evitar confusiones.
  - Zonas de almacenamiento: Almacenamiento de materia prima, producto en proceso, producto terminado y suministros (papelería, limpieza, etc). Importante esta identificación para no mezclar los productos ó materiales generándose errores en los procesos posteriores.
  - Zona de alistamiento: Debe ser una zona delimitada y respetarse su uso para evitar errores en el alistamiento de pedidos.
  - Zona de carga
  - Zona de estacionamiento de vehículos
  - Zona de oficinas
  - Zona de ubicación de recursos de movimiento de materiales
- Identificación de pasillos y estanterías
- Identificación de productos ó materiales: Identificación de productos en bodega. Lo importante es que el criterio de clasificación y localización de los productos sea claro y la señal visual también sea clara con respecto al criterio. Como un ejemplo para control visual de productos de acuerdo a su rotación puede ser destinar áreas rojas para productos de alta rotación, amarillas para productos de mediana rotación y verdes para productos de baja rotación. Esta clasificación facilita el diseño del flujo en la bodega.
- Señalización de flujo. Esto es principalmente útil cuando se utilizan recursos de movimiento de materiales y se desea evitar accidentes o retrasos. La línea de flujo indica el sentido en el cual se deben mover las recursos de movimiento de materiales en una zona determinada.

- Mapeo de productos en bodega: Tener un mapa de la bodega, sistematizado o manual, permite un reconocimiento de la zona y su organización por parte de los operadores, jefes y en general personas autorizadas para el ingreso a las bodegas.
- 5'ss: Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas limpias, organizadas y seguras. La idea principal es eliminar el desorden, desperdicio y la complejidad en el sitio de trabajo para que las personas trabajen de forma eficiente, comfortable y segura.

Las etapas para la implementación de 5S's son:

- Seiri-clasificar: Identificar y remover los elementos innecesarios en el sitio de trabajo.
- Seiton- organizar: Organizar el sitio de trabajo para seguridad y eficiencia.
- Seiso- limpieza: Mantener limpio con un programa de limpieza programado.
- Seiketsu- estandarización: Documentar los procedimientos y expectativas para asegurar un desempeño consistente.
- Shitsuke- mantener: Mantener la disciplina con buenos hábitos de trabajo.

En Logística la implementación de las 5S's permitirá:

### Inventarios

- Aprovechamiento de espacio de almacenamiento (horizontal y vertical)
- Eliminación de almacenamiento de artículos no necesarios, su acumulación y ocupación de espacio valioso.

- Uso de separadores de productos. Los separadores pueden ser columnas, estanterías, espacios, láminas, entre otras, para evitar que los productos se revuelvan y se confundan las referencias.
- Organización de las bodegas de acuerdo a algún criterio conocido y con señales que permitan la clara identificación de zonas, productos, rotación, entre otras. Los criterios de organización de una bodega pueden ser:
  - Orden de referencias
  - Frecuencia de uso de la referencia
  - Volumen ocupado por tipo de producto
  - Lugares de destino
  - Fuente de suministro (proveedor)
  - Naturaleza de los productos almacenados (productos enlatados, jabones, perecederos, electrodomésticos, etc)
  - Próximidad de los recursos a sus zonas de uso (producción, empaque, calidad, cargue)

#### Oficinas

- Zonas libres de elementos de bajo uso
- Orden del espacio de trabajo
- Organización de documentos para su facilidad de manejo, archivo y disposición (métodos de manejo de archivo, fecha, cliente, proveedor, etc)
- Establecimiento de horarios para realización de actividades con el fin de aprovechar al máximo el tiempo destinado a tareas rutinarias.
- Suministro oportuno de recursos para la elaboración de actividades

#### Transporte:

- Areas de embarque libres de productos que no correspondan.

- Puertos de carga libres y disponibles para la ubicación de los vehículos apropiados en el momento indicado.
  - Separación de cargas en la zona de embarque por vehículo para evitar confusiones en el ingreso de productos.
  - Delimitación de las zonas de movimiento.
  - En los transportes internos de la planta es conveniente establecer puntos de recogida y entrega de productos y sentidos de flujo, con el fin de hacer más eficiente la operación.
  - Seleccionar los recursos de movimiento de materiales más convenientes para las diferentes actividades de acuerdo a su facilidad de manejo, tamaño y versatilidad en el movimiento.
- *Trabajo estandarizado:* Una operación estandarizada es donde se conocen los requerimientos de entrada, los procedimientos del proceso, el tiempo en cada paso del proceso y las salidas esperadas de la operación. Los estándares son esenciales para comprender la condición actual del proceso, soportar su mejoramiento continuo y medirlo.

El trabajo no estandarizado conduce a que cada persona trabaje con un método diferente, lo cual puede generar problemas como:

- Generación de diferentes tipos de defectos asociados a las personas
  - Diferentes secuencias en las operaciones y por ende ineficiencias
  - Niveles de inventarios variables
  - Dificultad para conocer las causas de las fallas en una operación
  - Se realizan actos inseguros
  - Se dificulta la capacitación y el entrenamiento del personal
- *Poka –yoke:* Es una gran herramienta que ayuda a reconocer errores en el proceso antes de que ocurra el defecto. Es un proceso que permite diseñar e implementar sistemas a prueba de errores.

Un sistema Poka Yoke posee dos funciones: Una es la de hacer la inspección al 100% para prevenir defectos, y la segunda es, si ocurren anomalías poder dar retroalimentación y acción correctiva de inmediato.

- *Flujo nivelado*: El propósito del flujo nivelado es que la empresa trabaje articuladamente con el proveedor y los clientes manteniendo un control de la operación interna para nivelar el flujo de la demanda y minimizar el efecto látigo. La administración de la demanda es vital para no generar picos artificiales de demanda y por ende altos niveles de inventario.

Para alinear la demanda con el suministro, es vital mantener coordinación con el área de producción en el caso de empresas de manufactura y tener el control sobre las operaciones logísticas. Aquí la señal se inicia con la demanda que dispara la planeación del proceso productivo, que a su vez dispara la planeación logística de compras, manejo de inventarios, transporte de abastecimiento, transporte interno y transporte al cliente entre otras operaciones.

Para empresas que se dedican solo a servicios logísticos lo que se busca es alinear el suministro con la demanda teniendo en cuenta los tiempos y procedimientos de las operaciones intermedias como son la administración de bodegas, alistamiento de pedidos, operaciones de cargue y transporte (inbound, outbound). Aquí las operaciones logísticas se vuelven aún más críticas debido al gran volumen de artículos que se pueden llegar a manejar, la diversificación de los productos y sus presentaciones, la naturaleza de los productos, la localización de las fuentes de suministro y la localización de clientes.

- *Frecuencia y tamaño de lote*: La frecuencia de entregas y el tamaño de lote están íntimamente relacionados con la administración del lead time y flujo nivelado. La frecuencia en el abastecimiento y suministro es una gran herramienta para reducir los niveles de inventario, porque ayuda a sincronizar la demanda y nivelar el flujo de producción.

- *Sistema Pull – JIT*: Justo a Tiempo es una filosofía que consiste en la reducción del desperdicio (actividades que no agregan valor). Existen muchas formas de reducir el desperdicio, pero JIT se apoya en el control físico y de información de los materiales.

La idea básica del Justo a Tiempo es suministrar un producto, parte, etc, en el momento que es requerido para que este sea vendido o utilizado por otro proceso interno.

De acuerdo a la filosofía JIT, logísticamente se deben controlar no sólo los niveles totales de inventario, sino también el nivel de inventario de materias primas, entre las estaciones de trabajo, productos terminados, retrabajo y scrap.

La producción se ve impulsada sólo cuando un inventario se encuentra debajo de cierto límite como resultado de su consumo en la operación subsecuente, o se genera una nueva orden de producción cuando hay un pedido si el esquema es de cero inventarios. Esta señal que impulsa la acción puede ser un contenedor vacío, una tarjeta Kanban o cualquier otra señal visible de reabastecimiento, las cuales indican que se han consumido un artículo ó un lote y se necesita reabastecerlo.

Los pilares de la filosofía JIT son:

- Igualar la oferta y la demanda
- Eliminar el desperdicio
- Mejora continua
- Importancia del recurso humano: Mantener motivadas las personas, para lo cual se recomienda la capacitación, desarrollo habilidades multifuncionales, ofrecer empleos estables y confianza.
- Proceso continuo: Esto significa que se debe transferir solo las unidades necesarias en las cantidades necesarias, en el tiempo necesario. Para lograrlo se tiene dos tácticas:
  - Tener los tiempos de entrega muy cortos: Se requiere que la velocidad del sistema sea igual o mayor a la velocidad de consumo y que se tenga flexibilidad en las operaciones.
  - Eliminar los inventarios innecesarios. En la Tabla 17 se presentan algunas estrategias de eliminación de inventarios.



- *Milk runs*: El análisis de milk runs ayuda a suavizar el flujo a través de la organización de las rutas, volumen y frecuencia de las entregas y recogidas al interior de la planta. La técnica de milk runs induce a simular un servicio de transporte público que se mueve al interior de la empresa entre las diferentes operaciones.

El primer paso para analizar el transporte dentro de la planta es medir el volumen de tráfico entre destinos. Esto puede generar redistribuciones de planta que minimicen el transporte, esperas por un recurso y errores.

Tabla 17. Estrategias de eliminación de inventarios

<i>Tipo de inventario</i>	<i>Forma de reducción</i>
<b>Trabajo en proceso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reducir el tamaño del lote</li> <li>– Eliminar las colas</li> </ul>
<b>Materias primas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recibos directos, pequeños y frecuentes al lugar de trabajo</li> </ul>
<b>Producto terminado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Producir lo que se vende</li> <li>– Embarcar frecuentemente y en cantidades menores</li> </ul>
<b>Cadena de suministro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Determinación de nivel óptimo de inventario de seguridad y de ciclo</li> <li>– Reducir la incertidumbre sobre la calidad y cantidad de materias primas</li> <li>– Eliminar colas, dar fluidez</li> <li>– Minimizar el inventario de almacenamiento, contar con el inventario en tránsito</li> <li>– Programación nivelada</li> </ul>

Una buena forma de analizar todos los transportes es rastrear un pedido y ver que tantas veces la parte es manipulada en su trayecto como unidad, en un lote y en una estiba y de qué depende el tiempo movimiento y el tiempo de espera.

La revisión del transporte interno ayuda a determinar:

- Rutas de los diferentes recursos a los diferentes destinos reduciendo los movimientos

- Evidenciar la necesidad de recursos de movimiento de materiales (montacargas, elevadores, personas, bandas transportadoras, patines hidráulicos o eléctricos, carretillas, carritos, toboganes y avgs son las opciones más conocidas)
- Determinar puntos de carga y descarga
- Optimizar el uso de los contenedores, bandejas, cajas u otros elementos que hacen parte del flujo de materiales

Como conclusión, a través del análisis de milk runs se puede lograr:

- Aumentar la productividad
  - Reducir el espacio requerido
  - Mejorar la seguridad en la planta
  - Mejorar el lead time
- 
- *VSM*: Finalmente analizadas todas las opciones es conveniente realizar el VSM futuro para ilustrar el impacto de las acciones sugeridas dentro de la cadena de valor.

***Etapa 2: Implementación:*** En esta etapa se ejecuta el proyecto de acuerdo a un plan para lograr los resultados esperados, en el tiempo y con los recursos estimados.

En logística es común encontrar implementaciones principalmente en cuatro frentes:

- Cambios de procedimiento en las operaciones
- Apertura, reubicación o cierre de instalaciones (almacenes, CEDI)
- Tercerización de operaciones (operadores logísticos)
- Tecnología: Control visual electrónico – sistemas andon, kanban electrónico, sistemas de información y tecnologías de información como RFID, EDI, códigos de barras, GPS, XML, entre otras.

Continuando con la metodología se formula la pregunta esquematizada en la Figura 22.

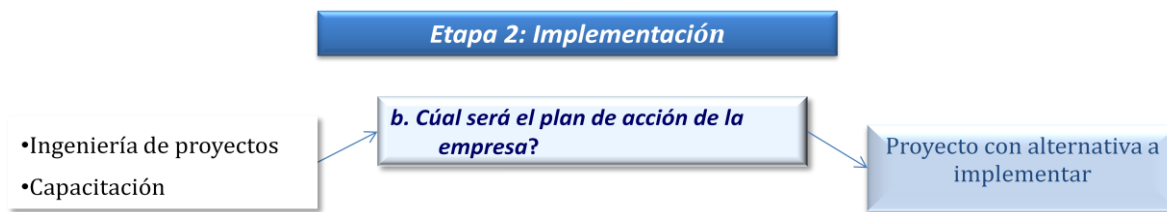


Figura 22. Etapa de generación del plan de acción

a. *¿Cuál será el plan de acción de la empresa?* El plan de acción es el listado de acciones específicas, responsables y fechas de ejecución dentro del proyecto para lograr su objetivo.

En este punto las acciones requeridas pueden ir desde un nivel de planeación táctico a un nivel estratégico, por ende, la duración de esta fase se puede ver alterada con respecto a los tiempos estimados en el project charter.

También, las inversiones y resultados de estas acciones deben estar estrechamente ligadas a los flujos establecidos en la etapa de definición, de lo contrario será necesario recalcular el VPN del proyecto.

En esta etapa es necesario hacer uso de herramientas para organizar, ejecutar y controlar las actividades y recursos, como son:

- *Ingeniería de proyectos*: La ingeniería de proyectos provee una estructura para los proyectos en cuanto a definición y administración de tiempos, estructura organizacional y definición de responsabilidades y recursos de forma más específica.

Aquí se pueden utilizar herramientas como PERT y CPM y diagramas de Gantt.

- *Capacitación*: Toda implementación debe llevar consigo una capacitación donde las personas conozcan lo que se quiere hacer, porque se quiere hacer y la importancia de su participación en este proceso. Esto lleva a una concientización y es más fácil lograr la aceptación y reducir la natural resistencia al cambio.

### 3.3.5. Fase de control

Lo que se busca en esta fase es responder a la pregunta esquematizada en la Figura 23, con el fin de mantener el control sobre los procesos, la información y los resultados.

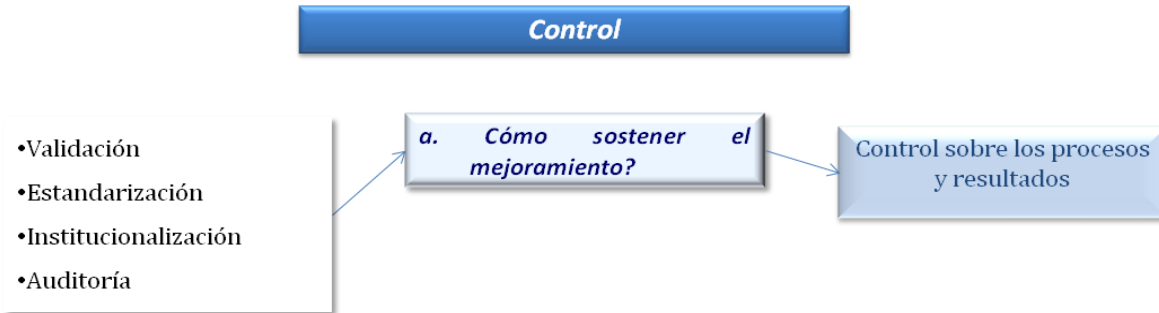


Figura 23. Etapa de generación del plan de acción

a. *Cómo sostener el mejoramiento?* Es común que en las empresas se presenten cambios en los procedimientos y políticas debido a implementaciones, el problema está en que no se institucionalizan. Es decir, se monitorean los procedimientos en un inicio y después se deja atrás lo implementado volviendo el sistema al mismo punto o inclusive a uno peor. Cuando esto sucede las personas pierden la credibilidad sobre las estrategias de mejoramiento, cambio o reestructuración y todas las futuras intenciones no serán tomadas en serio o habrá mayor resistencia.

De lo anterior la importancia de buscar una forma de sostener los cambios realizados y para esto se sugieren las siguientes herramientas (Tabla 18):

Tabla 18. Herramientas en la fase de control

FASE DE CONTROL		
Objetivo	Herramientas Six sigma	Herramientas Lean
Sostener el mejoramiento y la ganancia obtenida	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indicadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Validación</li> <li>▪ Estandarización y documentación</li> <li>▪ Institucionalización</li> <li>▪ Auditoría</li> </ul>

- *Validación:* Aquí se validan los resultados de las implementaciones, lo que se logró, como se logró y las barreras encontradas.

Hay herramientas de mejoramiento y análisis que deben mantenerse algunas de forma constante y otras de forma periódica, con el fin de no retroceder sino entrar en un proceso de mejoramiento continuo.

Las herramientas que más aportaron en todo el desarrollo de la metodología DMAIC deben ser documentadas para mantener una revisión de las mismas. Por ejemplo, herramientas como el FMEA debe reevaluarse cada cierto periodo de tiempo y herramientas como el sistema pull, control visual, poka yokes, estandarización, flujo nivelado, entre otras, deben monitorearse de forma permanente porque constituyen más que un evento periódico una nueva filosofía de trabajo.

- *Documentación y estandarización:* Si las implementaciones del proyecto generaron cambios en la forma de trabajar (procesos operativos, de medición, etc), los procedimientos deben ser corregidos, estandarizados y comunicados formalmente a las personas.

- *Institucionalización:* La idea en este punto es volver lo implementado la nueva filosofía y metodología de trabajo, algo que no es fácil en un inicio por falta de afianzamiento de las personas. Se recomienda que al inicio el seguimiento sea más cercano manteniendo un acompañamiento constructivo. Posteriormente igual se debe mantener la vigilancia sobre la forma de operar pero también se acompaña con medición de los resultados.

- *Indicadores:* De acuerdo a la empresa y naturaleza de su operación y productos hay unas medidas propias del desempeño, sin embargo hay algunos indicadores que deben instaurarse en todos los casos como son los de primer nivel porque permiten mantener el monitoreo general del sistema.

También es recomendable crear indicadores en aquellos puntos que se detectaron críticos durante los análisis anteriores. En todas las empresas hay puntos donde se es más propenso a perder control por diversos factores (internos o externos. En esos puntos críticos de la operación se deben

establecer indicadores con una cierta periodicidad para mantener el mejoramiento.

La creación de indicadores adecuados puede ser el mejor sistema de alerta ante variaciones en los resultados de las operaciones.

- *Auditoria:* Si la empresa cuenta con un departamento de auditoría sus mediciones y seguimiento del proceso deben ser coherentes con la nueva forma de operar y puntos críticos encontrados en el desarrollo de la metodología DMAIC. Consecuentemente, se debe hacer partícipe al área de auditoría de los procedimientos y controles implementados y muy especialmente de la forma como se maneja la información para que se reestructure de forma adecuada el sistema de control de auditoría.

Para mayor claridad en este punto se expone un ejemplo:

La implementación de cambios en la operación logística en una empresa puede conducir a una reestructuración de los centros de costo, creándose algunos nuevos para poder medir el costo de ciertas operaciones críticas y modificándose los existentes. Normalmente los departamentos de auditoría revisan el desempeño financiero y operativo de las diferentes áreas para detectar inconsistencias u oportunidades de mejora, por ende, un cambio en los centros de costo no informado puede reflejar en un informe de auditoría un resultado inconsistente y no coherente con la realidad.

## Caso de estudio – Axle Corp

---

### 4.1. Desarrollo del caso de estudio

En este capítulo se describe el caso de estudio teórico-práctico y real-ficticio de Axle corp, empresa proveedora de partes de la industria Automotriz. La parte práctica se desarrolla en las fases de definición, medición y análisis y la parte teórica se da en las fases de mejoramiento y control. Los datos utilizados son parcialmente ficticios y gran parte de ellos reflejan la situación real de la empresa de la cual se tomó la información.

El diseño del caso se realizó tomando como guía los casos tipo Harvard.

---

*Una agradable mañana en agosto de 2008 José Larios se dirige a su trabajo en la empresa Axle corp. José Larios es el Gerente de la planta y a su llegada debe afrontar los reportes de final de mes.*

*En el reporte se presenta como se ha disminuido gravemente la utilidad en la compañía y el alto nivel de devoluciones de su último modelo de hub/housing M1234.*

*Ese mismo día Jose Larios recibió llamadas del presidente y socios de la compañía que exigían explicaciones.*

---

#### **El producto**

El modelo M1234 es un ensamble de varias partes, pero las dos principales son el hub y el housing.

El M1234 fue diseñado por Axle corp para un cliente exclusivo (EM) fabricante de automóviles, y forma parte del ensamble de su modelo de camioneta 4x4 con demanda estable en el mercado durante los últimos meses.

Del funcionamiento del M1234 se resalta que es parte importante de la transmisión de las camionetas para la generación de torque y cambio de velocidades.

#### **Diseño de productos**

Las especificaciones de calidad de los productos vienen dadas por el cliente, pero Axle corp que posee un amplio conocimiento sobre los sistemas automotrices busca además

---

de mejorar en calidad, innovar en el diseño para hacer los productos más económicos y de mejor rendimiento, involucrando alta tecnología en sus procesos de manufactura.

La estrategia adoptada durante los últimos años por la compañía ha sido innovar en sus productos con el fin de anticiparse a los diseños de los competidores y alcanzar los siguientes objetivos: ofrecer productos de buena calidad y con un bajo costo que conduzcan al incremento en las ventas y satisfacción de los clientes y consumidores.

### **Proveedores**

La planta de manufactura de Axle corp se encuentra localizada en México y sus proveedores de partes principales se localizan en Estados Unidos, razón por lo cual medio de transporte elegido para el movimiento de las piezas es el terrestre.

La empresa cuenta con 4 proveedores principales y cada uno de ellos maneja ciertos niveles de precio, servicio y calidad. El proveedor X es el que ofrece menor precio, calidad aceptable y realiza descuentos por volumen, por ende el departamento de compras lo utiliza preferencialmente. El proveedor Y se ubica más cerca que los demás pero su nivel de calidad y precio no es tan competitivo. El proveedor Z garantiza un alto nivel de servicio y calidad en las entregas pero es un poco más costoso que los dos anteriores; y finalmente está el proveedor A que es una unidad estratégica de Axle corp que tiene un proceso altamente flexible, pero su nivel de cumplimiento y calidad es bajo.

Para el caso del proveedor A se calculan las compras considerando un 30% de scrap y para los demás proveedores un 20%.

El costo del transporte inbound (proveedor-planta) es subcontratado y pagado por Axle corp quien cuenta con 5 proveedores de transporte, donde el nivel de servicio y tiempo de viaje de cada uno de ellos varía. A pesar de esto, el criterio de selección del transportista está basado principalmente en la disponibilidad de vehículos.

### **Cadena de suministro y manufactura**

El layout de la planta se encuentra organizado en celdas de manufactura por productos y familias de productos, y las bodegas de materia prima y producto terminado se encuentran cerca del proceso productivo pero separadas entre sí.

Los materiales e insumos llegan a la planta y se almacenan en una bodega de materia prima antes de pasar a producción, donde para el movimiento de materiales las piezas se mueven en estibas con montacargas. En las celdas de producción los productos se mueven a través de bandas transportadoras y robots.



El sistema de manejo de inventarios elegido es FIFO (first in, first out) debido a que los componentes pueden oxidarse, sin embargo, es difícil controlar las fechas porque los productos no siempre son cargados o descargados del sistema en el momento que suceden las operaciones.

**Proceso:** El proceso se inicia con la recepción de órdenes de pedido del cliente, las cuales son revisadas y comparadas con los inventarios para establecer la programación de las compras, cuyo objetivo es adquirir lo suficiente para satisfacer el pedido y mantener el stock de seguridad. Después se realiza la programación de producción para los pedidos (actualmente la tasa de producción es de 2.6 piezas/min y el tiempo de flujo es de 4.6 min.) y también se realiza ocasionalmente la programación de reprocesos (se programan cuando hay tiempo ocioso en la línea).

Para el proceso productivo se programa la producción por modelo de producto y se solicitan los materiales e insumos a la bodega, quien envía “suficiente” para cumplir con el requerimiento.

Antes de terminar el proceso productivo en cada celda se encuentra una estación donde se marcan las piezas con su datamatrix (código láser que permite identificar la parte, su fecha de producción y lote). Ya afuera de las celdas, los productos son llevados al área de supervisión donde se realiza una inspección visual al 100% de los productos y una inspección por parte del cliente al 20% de los productos. Los productos defectuosos al final del día se clasifican en productos perdidos (scrap, cuando no hay posibilidad de reparación) y en productos remanufacturables.

Como última etapa del proceso se procede a realizar la operación de empaque, de donde salen los productos terminados a su bodega.

El proceso de alistamiento consiste en que varias personas alistan varios pedidos, es decir, la bodega se divide en referencias y los alistadores están organizados por secciones, suministrando las referencias de su sección para cada pedido. Alistados los pedidos se procede a realizar el embarque y la facturación.

### **Canales de distribución**

A pesar de que la empresa tiene varios clientes, en la planta donde se desarrolla el modelo M1234 se trabaja de forma exclusiva para EM, por lo tanto solo hay una forma de distribución y entrega de productos que es de la planta de Axle corp a la planta del cliente.

Bajo este esquema de funcionamiento la empresa obtiene un mayor margen de ganancia debido a la exclusividad y al volumen de producción y ventas comprometido con EM, sin embargo a cambio se acarrea con el riesgo del cliente.

La línea tradicional de ventas de la empresa antes del 2008 consistía en ventas por catálogo, la cual tenía sus propios vendedores que llegaban a diferentes zonas a ofrecer sus productos en los talleres automotrices (refracciones), también le vendían a pequeños almacenes o distribuidores y finalmente y como mayor fuente de ingresos estaban los clientes de gran volumen, las empresas automotrices.

### **Clientes**

El único cliente del M1234 es EM, empresa que se encuentra en México pero no en la misma región de Axle corp.

La realización de pedidos del cliente es semanal y corresponde a 8 semanas. Las dos primeras semanas del pedido no son alterables de acuerdo a lo acordado entre las empresas, aunque en ocasiones se presentan cambios por situaciones especiales. De forma general, Axle corp ha estimado que diariamente debe producir en promedio 1200 piezas para atender la demanda de EM.

El transporte de productos a EM es acarreado por ellos, sin embargo, en los casos donde Axle corp tenga retrasos y no pueda entregar en las fechas pactadas el costo de transporte correrá por su cuenta. Estos términos fueron parte de la negociación y compromisos realizados por ambas partes en cuanto a cumplimiento.

También como parte de la negociación desde mayo de 2008 la empresa maneja un inventario en consignación para garantizar disponibilidad al cliente, por ende hasta que las partes no entran al proceso productivo de EM el inventario es propiedad de Axle corp.

### **Sistema de información**

La empresa cuenta actualmente con dos sistemas: SAP y E-TECH. SAP es utilizado en compras, recepción de materiales, MRP, facturación, inventarios, transporte, finanzas y recursos humanos.

La actualización de los inventarios de materia prima y producto terminado se realizan manualmente y el producto en proceso no existe para el sistema, por lo cual se mantiene como materia prima. El producto en proceso es controlado físicamente.

E-TECH: Es el software utilizado en producción para la programación diaria de las celdas de manufactura automatizadas. Este sistema funciona con PLC's pero no lleva registro de piezas defectuosas, paradas de máquina, tiempos, entre otros datos relevantes de producción.

Entre SAP y E-TECH no hay comunicación, por lo tanto todo lo que sucede en la línea de producción no se refleja en SAP hasta que no se ingresa manualmente al sistema.

---

Con los proveedores y clientes la comunicación es vía EDI para las órdenes de pedido y de compra, que se descargan semanalmente.

---

### Los hechos

*El año anterior el espíritu de la compañía creció debido a que el cliente principal, EM, aceptó usar el M1234 diseñado por Axle corp para su línea de camionetas 4x4. EM anuncia una nueva era para la empresa así como su rápida expansión en otros productos.*

*Para agosto de 2008 la expansión en el mercado presentó un cambio inesperado... EM se empieza a quejar fuertemente y a regresar productos en cantidades no aceptables. La moral del personal de Axle corp. se está yendo abajo debido a la caída en la expectativa del producto desarrollado.*

*Cada área de la empresa tenía una teoría sobre el problema:*

- *El personal de producción oyó de un empleado acerca del alto precio del producto y empezó a trabajar en la reducción de costos en el proceso.*
- *Las personas de mercadeo empezaron a buscar nuevos clientes.*
- *En diseño empezaron a trabajar en un rediseño del producto.*

*Las utilidades seguían cayendo.... y a medida que el problema crecía cada grupo hacia cada vez más cosas para solucionarlo, creándose más problemas....*

*Axle corp. es una empresa que considera conocer la industria y lo que sus clientes quieren y por esto diseñó el novedoso ensamble M1234, que resultaba más económico en cuanto a costos de producción para la empresa mejorando el precio para EM.*

*Debido a los difíciles resultados de agosto y reconociendo que la compañía debía empezar a ser más lista, el presidente de la empresa anuncia y se compromete con una nueva iniciativa para mejorar las operaciones de la compañía. La iniciativa empieza con la creación de un equipo especializado (**Swat team**) para analizar el M1234.*

*Los interrogantes que se plantea José Larios y que buscará resolver con el Swat team son:*

- *Cuál área es la está afectando los resultados de la empresa?*
  - *Cuáles son las causas de la reducción de las utilidades?*
  - *Qué se puede hacer para mejorar la situación?*
  - *Cuánto costará implementar los cambios necesarios y cuál será el beneficio económico a largo plazo?*
-

El Swat team se conforma de 6 personas, de las cuales 3 son de la empresa (el financiero Juan Cruz, el gerente de planta José Larios y el líder de proyectos Catalina Howard) e incluye 3 personas externas a la misma que son: Ignacio Rojas un ex empleado que trabajó en el piso de la planta y tiene amplia experiencia, Juliana Martínez una consultora que ha estado involucrada en diferentes proyectos de iniciativa de cambios en empresas y Rosa Díaz la cual tiene gran conocimiento académico acerca de iniciativas de mejoramiento y procesos productivos.

Para presentar la información al presidente y socios de la situación actual de Axle Corp, José Larios prepara un **reporte gerencial** con la siguiente información:

VSM de alto nivel (figura 24)

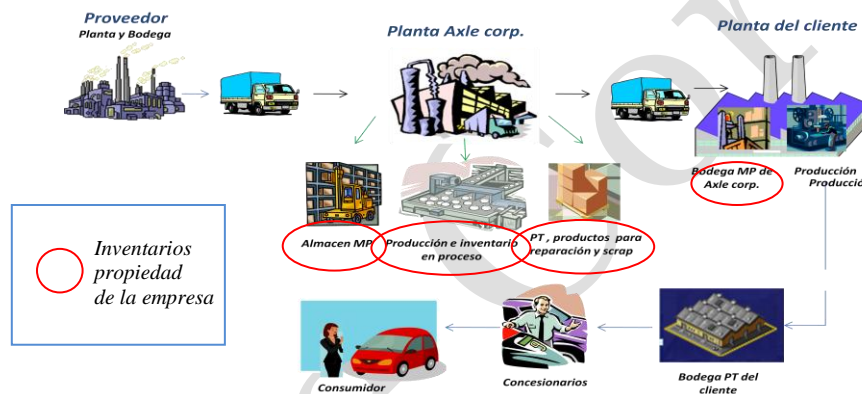


Figura 24. Value stream mapping de alto nivel de Axle corp.

Información financiera (Figura 25)

DATOS FINANCIEROS		%	
Ventas	\$ 250,800,000		100.0%
Mercancía devuelta	\$ 12,540,000		5.0%
Ventas Netas	\$ 238,260,000		95.0%
Costo de mercancía vendida	\$ 26,250,000		10.5%
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>\$ 212,010,000</b>		<b>84.5%</b>
<b>COSTOS LOGÍSTICOS</b>			0.0%
Ordenar	\$ 400,000		0.2%
Administración proveedores	\$ 325,000		0.1%
Diseño logístico	\$ -		0.0%
Transporte a cliente	\$ 18,750,000		7.5%
Transporte desde proveedores	\$ 48,500,000		19.3%
Almacenamiento CEDI propio	\$ 15,750,000		6.3%
Almacenamiento externo	\$ 2,850,000		1.1%
Vigilancia de bodegas	\$ 325,000		0.1%
Manejo de materiales	\$ 1,275,000		0.5%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 88,175,000</b>		<b>35.2%</b>
<b>Costo de inventarios</b>			
Administrativo	0.5%	\$ 1,160,250.00	0.5%
Costo de capital	6.0%	\$ 13,923,000.00	5.6%
Daños	1.0%	\$ 2,320,500.00	0.9%
Seguro	1.0%	\$ 2,320,500.00	0.9%
Movimiento en planta	3.0%	\$ 2,320,500.00	0.9%
Obsolescencia	1.0%	\$ 6,961,500.00	2.8%
Pérdidas	6.0%	\$ 13,923,000.00	5.6%
Espacio	0.5%	\$ 2,320,500.00	0.9%
Sistema almacenamiento	3.0%	\$ 1,160,250.00	0.5%
Impuestos		\$ 6,961,500.00	2.8%
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 53,371,500.00</b>		<b>21.3%</b>
<b>TOTAL COSTO LOGÍSTICO</b>	<b>\$ 141,546,500</b>		<b>56.4%</b>

Figura 25. Información financiera de Axle corp.

Indicadores con los que cuenta actualmente Axle corp (Tabla 20)

Tabla 19. Indicadores iniciales de Axle corp

<i>Indicador</i>	<i>Calculo</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultado</i>
<i>Lead time</i>	<i>Tiempo pactado de entrega al cliente</i>		2 sem.
<i>Disponibilidad</i>	$\frac{\text{Tiempo prod. disponible (planeado)} - \text{paros}}{\text{Tiempo de prod. disponible (planeado)}}$	$\frac{440 - 34}{440}$	0.92
<i>Eficiencia</i>	$\frac{\text{Tiempo de ciclo} \times \text{cantidad producida}}{\text{tiempo de producción bruto}}$	$\frac{17 \times 1230}{406 \times 60}$	0.86
<i>FTQ</i>	$\frac{\text{Unid. producidas (buenas + malas)} - \text{piezas malas}}{\text{Unidades producidas}}$	$\frac{1182}{1230}$	0.96
<i>OEE</i>	<i>Disponibilidad x eficiencia x FTQ</i>	$0.92 \times 0.86 \times 0.96$	0.76

Causas de generación de costos de transporte al cliente (Tabla 21)

Tabla 20. Causas de incremento del costo de transporte de Axle corp.

#	<i>item</i>	<i>Valor transporte</i>
1	Entregas tardías	5643000
2	Devoluciones	4138200
3	Pedidos incompletos	1254000
4	Reparaciones	877800

Problemas que percibe el cliente de la empresa: Para el M1234 los defectos principales que afectan al cliente se presentan en la tabla 22, con sus respectivas tasas de defecto promedio diario (D) y cantidad de oportunidades promedio de que la situación se presente (O). Los datos se obtuvieron de las planillas que llena el personal de calidad y logística.

Tabla 21. Defectos y oportunidades de defecto de Axle corp

<b>Defecto</b>	<b>D</b>	<b>O</b>
Data Matrix incorrecto ó sin Data Matrix	1	5
Oxido hub/housing	3	26
Concavidad	1	4
Rebaba en hub/housing	4	32
Entregas fuera de fecha	4	8
Pieza Golpeada	5	18

### Opiniones del Swat team

A pesar de que la tarea del Swat team era aparentemente clara – identificar la causa del problema del M1234 y eliminarla – las opiniones iniciales con que contaba el gerente fueron las siguientes:

*Rosa:* El problema está en el proceso de manufactura. Se están produciendo demasiados ensambles defectuosos.

*Ignacio:* Lo que sucede es lo de siempre, un par de productos mal y los clientes señalan toda la producción como defectuosa. No es posible que regresen ensambles defectuosos porque el control de calidad es muy estricto. Yo creo que el cliente está dañando el producto en su proceso productivo por un mal proceso de ensamble.

*Juliana:* Se requiere mayor profundidad en el análisis por lo cual recomiendo enfocarnos en tres elementos principales: El cliente, el proceso y los hechos y datos.

## DESARROLLO DEL CASO

### 1. Fase de definición

#### *Etapa 1. Definición de oportunidades*

Para definir las oportunidades de mejora el Swat team se da a la tarea de conocer la situación actual que atraviesa la empresa, y para ello se concentra en los tres enfoques mencionados:

***Enfoque al cliente:*** Para conocer mejor al cliente y los consumidores Rosa sugiere escuchar la ***voz del cliente*** (VOC), buscando responder inicialmente las siguientes preguntas:

- Quiénes son nuestros clientes? –internos y externos (clientes y consumidores)
- Qué esperan del producto?
- Cómo podemos satisfacerlos?

Para el levantamiento de la información se optaron por las siguientes alternativas:

- Recopilar los datos de quejas reportadas por los clientes
- Entrevistar a los clientes (entrevistas individuales, grupales, telefónicas, email)
- Revisar los ***requerimientos críticos de calidad***
- Reconocer el producto y los servicios que Axle corp actualmente está ofreciendo

Se realizó también un proceso de **benchmarking** entre el desempeño del producto y los requerimientos del cliente y consumidor final, para ver que tan exitoso era el desempeño.

Hallazgos del análisis del cliente:

- Buena parte de las entregas del producto al cliente llegaron en un estado de presentación de mala calidad, cuando el cliente abría el camión el producto estaba desordenado.
- El producto en la bodega del cliente tiene más problemas de oxidación.
- No se satisfacen las necesidades del cliente: El cliente no recibe el volumen suficiente o a tiempo para atender su demanda. El cliente sugiere la realización de pedidos más frecuentes.
- De acuerdo a algunos consumidores de la camioneta 4x4, los cambios son muy largos y el vehículo tironea.
- Con el benchmarking realizado se encontró que a pesar de que el M1234 resultaba menos costoso para la empresa y por ende más barato para el cliente, sus beneficios funcionales no fueron mejorados con respecto a sus modelos anteriores y los de la competencia.

**Enfoque en el proceso:** Para conocer lo que sucedía en la cadena de suministro, al interior de Axle corp y el impacto de la situación, el Swat Team realizó los siguientes análisis:

***Revisión del VSM de la empresa de alto nivel:*** De acuerdo al vsm (figura 24) el Swat team observó que la empresa tiene inventario en la bodega de PT en su planta e inventario en la bodega de MP en la planta del cliente, pero el modo de operar de las dos bodegas es independiente. Es decir, operativamente las dos bodegas funcionan diferente pero el costo del inventario en ambas es cuenta de Axle corp.

***Análisis financiero:*** Realizaron un análisis sobre el estado de resultados (Figura 25) y revisaron el comportamiento de las ventas por varios años con el fin de: conocer el estado de las utilidades de la empresa, los costos en las diferentes operaciones y establecer si la caída de las ventas corresponde a una situación estacional o es parte de una tendencia de largo plazo.

***Diagrama SIPOC:*** De acuerdo al proceso descrito en el caso se genera el diagrama presentado en la figura 26.

SIPOC				
Supplier	Inputs	Process	Outputs	Customers
Proveedores de partes	Órdenes de compra	Programar las compras de materiales	M1234	EM
Proveedores de insumos	Ordenes de refracciones	Programar las órdenes de pedido	piezas de scrap	
Proceso productivo	Ordenes de reproceso	Programar el reproceso	piezas para reproceso	
		Proceso productivo		
		Supervisión de calidad por el cliente		
		Almacenar para distribuir		
		Embarcar y enviar el producto		

Figura 26. Diagrama SIPOC de Axle corp.

El diagrama SIPOC muestra claramente la consideración de las piezas de reproceso y scrap, con lo que se evidencia que los inconvenientes de calidad son representativos y forman parte natural del proceso de la empresa.

Hallazgos del análisis financiero y del proceso:

- El decrecimiento sostenido de los últimos meses no se encuentra en las ventas de Axle corp sino en las utilidades. Los datos sugieren que esto es debido al incremento en los costos por mala calidad y logísticos y al volumen de las devoluciones.
- El análisis de ingresos y egresos arrojó que el costo de transporte al cliente, que no debe asumir la empresa, es bastante alto (7.5% de las ventas). Se detectó por medio de un pareto (Figura27) que sus principales rubros son debidos a devoluciones y entregas fuera de tiempo.
- El costo por daños y obsolescencia (3.7% de las ventas) sugiere prestar atención especial a la calidad de los materiales (mp, pp, pt e insumos) y a la administración de inventarios.
- Las pérdidas también representan un punto de especial atención al ser un 5.6% de las ventas. Contablemente éstas se registran cuando se ajusta el inventario del sistema con respecto al físico.
- En general, los costos asociados al manejo de inventarios constituyen un 21.3% de las ventas.



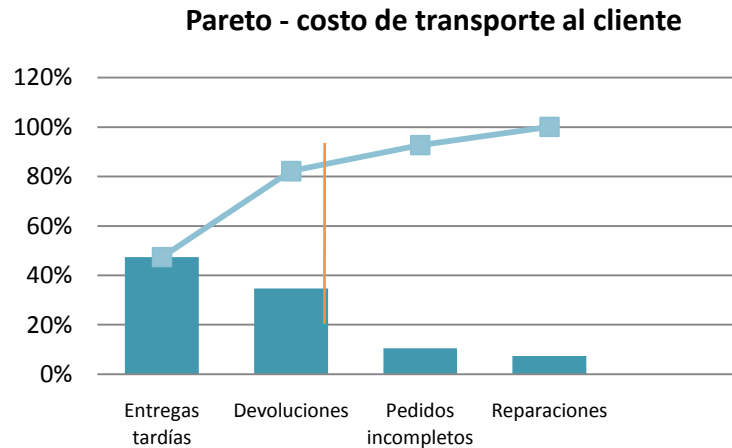


Figura 27. Diagrama pareto de las causas de incremento en el costo de transporte

Con la información y los hallazgos realizados el Swat team se cuestiona acerca de las *posibles oportunidades de mejora para solucionar los problemas encontrados*, sugiriendo alternativas que pueden dar solución a la mayoría de los inconvenientes encontrados. Las alternativas son:

1. Realizar un estudio a profundidad sobre el desempeño del ensamble en las camionetas y rediseñar el M1234. Ejecutar esta alternativa incluye los gastos de eliminar el inventario de piezas y partes del M1234 en todos los tipos de inventario, costo de adecuación de las máquinas y procesos y los beneficios se estiman en los niveles de venta y calidad.
2. Un proyecto de administración y manejo de inventarios que lleve a reducir este costo en al menos un 10% con respecto al total de las ventas. En este proyecto se contemplan inversiones de tipo tecnológico para el control de productos (scanners, equipo y personal para manejo de productos en bodega y en el proceso).
3. Proyecto en el área de transportes que conduzca a la reducción de su costo en operaciones de flujo inbound, outbound y al interior de la empresa. Las acciones a realizar requieren inversiones a través de la cadena de suministro como pueden ser: rediseño de layout, inventario de PT, consolidación y admon. de carga en EU (marshalling), negociaciones, etc .
4. Rediseñar el proceso productivo para minimizar los problemas de calidad y los costos.

Las cuatro oportunidades detectadas generan un impacto en los objetivos de la empresa, por lo cual se evaluarán todas las alternativas con la matriz XY.

Matriz XY: En la elaboración de la matriz participa el Swat team y los jefes de área con el fin de analizar el impacto de las diferentes alternativas (Tabla 23). De acuerdo a esta, la conclusión es que la empresa debe enfocar inicialmente sus esfuerzos en el rediseño del producto y posteriormente en la administración de inventarios.

Tabla 22. Matriz XY de las cuatro alternativas de proyectos en Axle corp

	Variables de salida (Y)					
	Peso	35	20	15	30	
Variables de entrada (X)	Tabla de asociación 1-10					Rango
Rediseño del producto		9	8	7	10	<b>880</b>
Rediseño del proceso		5	7	8	7	645
Administración del transporte con el proveedor		7	6	10	9	785
Administración de inventarios		7	8	10	10	<b>855</b>

### ***Etapa 2. Análisis de recursos***

***Enfoque en los datos:*** Conociéndose los hechos que motivan el estudio, las necesidades del cliente y las falencias en el proceso de forma general, se recomienda tener un enfoque en los datos para la selección y diseño del proyecto.

En este punto se realiza el análisis del VPN comparando las opciones de invertir en alguna de las dos alternativas preseleccionadas o no invertir.

- A1: Rediseño del producto
- A2: Administración de inventarios
- A3: Continuar operando de la misma forma

El equipo swat solicita a Juan Cruz que su departamento realice las estimaciones económicas para las tres alternativas, considerando una presencia del producto en el mercado de 5 años y una tasa de interés del 9% EA. La información resultante se presenta en las tablas 24 y 25.

Tabla 23. Estimaciones económicas para las 3 alternativas potenciales de proyecto

	Estado actual		Admon. De inventarios		Rediseño del M1234	
	Valor	% sobre vtas	Valor	% sobre vtas	Valor	% sobre vtas
Ventas	\$ 250,800,000	100.00%	\$ 251,634,000	100.33%	\$ 275,880,000	110.00%
Devoluciones en ventas	\$ 12,540,000	5.00%	\$ 8,540,000	3.41%	\$ 2,508,000	1.00%
Transporte a clientes	\$ 48,500,000	19.34%	\$ 45,230,000	18.03%	\$ 48,500,000	19.34%
Inventarios	\$ 53,371,500	21.28%	\$ 25,765,900	10.27%	\$ 53,371,500	21.28%
Otros costos logísticos	\$ 39,675,000	15.82%	\$ 36,890,237	14.71%	\$ 39,675,000	15.82%
Inversiones			\$ 250,000		\$ 195,000	

Tabla 24. Valor presente neto de las 3 alternativas potenciales de proyecto

	Actual	Inventarios	Rediseño
<b>Flujos positivos por año</b>	\$250,800,000	\$251,634,000	\$275,880,000.00
<b>Flujos negativos por año</b>	\$154,086,500	\$116,426,137	\$144,054,500.00
<b>Saldo por año</b>	\$96,713,500	\$135,207,863	\$131,825,500
<b>Inversión año 0</b>		\$250,000	\$195,000.00
<b>VPN</b>	<b>\$376,181,787.46</b>	<b>\$525,661,435.13</b>	<b>\$512,560,222.62</b>

### ***Etapa 3. Selección del proyecto y desarrollo de la propuesta***

Para la selección definitiva del proyecto se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos del análisis económico, resultando más conveniente dar prioridad al proyecto de mejora en la administración y manejo de inventarios por su mayor VPN.

**Project charter:** El Project charter del proyecto se presenta en la tabla 26.

Tabla 25. Project charter del proyecto de administración de inventarios en Axle corp.

Unidad de negocios	<b>Axle corp.</b>	Ahorros esperados por año	\$149.479.647,67
Black Belt	Juliana Martínez	Fecha inicio	15/07/08
Champion	Catalina Howard	Fecha terminación	16/03/09
1. Proceso	Logística en la cadena de suministro		
2. Descripción del proyecto	El proyecto "Lean six administración de inventarios", comprendido entre julio/08 y febrero/09, busca alcanzar una reducción del 10% del costo del inventario con respecto a las ventas.		
3. Objetivo	<b>Indicador</b>	<b>Actual</b>	<b>Meta</b>
	Costo de inventario	21.28%	10.27%
4. Miembros del equipo	<b>Rol</b>		<b>Nombre</b>
	Champion		Catalina Howard
	Process Owner		José Larios
	Process Owner		Carlos Treviño
	Black Belt		Juliana Martínez
	Finance		Juan Cruz
	Statistical Expert		Rosa Díaz
5. Alcance del proyecto	El proyecto llegará hasta la etapa de control, es decir, desde la definición del proyecto hasta implementación de estrategias de mejora y creación de mecanismos de control para sostener los		
6. Beneficios para el cliente	Mejoramiento en el cumplimiento de las entregas y calidad de los productos.		
7. Programación	<b>Fechas clave para completar</b>		<b>Fecha de inicio</b>
	D - Definición		15/07/08
	M – Medición		30/08/08
	A – Análisis		01/10/08
	I – Mejora		01/11/08
8. Apoyo requerido	C – Control		16/02/09
	Es necesario contar con el apoyo del encargado de logística para analizar los procedimientos y operaciones. También el personal de finanzas para que provea la información financiera.		

## 2. Fase de medición

### Etapa 1. Visión general

**Indicadores:** Para reconocer de forma general cual es el estado de la empresa de acuerdo a su desempeño interno, se revisan los indicadores del reporte gerencial (tabla 20) y se calculan otros que se consideran necesarios para el proyecto como los presentados en la tabla 27.

Tabla 26. Indicadores de administración de inventarios de Axle corp

<i>Indicador</i>	<i>Calculo</i>	<i>Datos</i>	<i>Resultado</i>
Rotación de inventario	$\frac{\text{Valor de las ventas}}{\text{Valor del inventario}}$	$\frac{250.800.000}{53.371.500} = 4.7$	77.6 días
Rotación inventario (MP, PP)	$\frac{\text{Valor de las ventas}}{\text{Valor del inventario de MP y PP}}$	$\frac{250.800.000}{51.065.851} = 4.9$	74.3 días
Exactitud en inventario	$\frac{\text{Valor del inventario} - \text{diferencia en inventario}}{\text{Valor del inventario}}$	$\frac{39.448.500}{53.371.500}$	74%
Inventario en proceso - WIP	<i>tasa producción * tiempo flujo</i>	2.6 x 4.6	13 piezas
Costo logístico	$\frac{\text{Costo logístico}}{\text{Valor de las ventas}}$	$\frac{141.546.500}{250.800.000}$	56.4%

**DPMO:** Para la construcción de este indicador se analizan los datos que la empresa mide actualmente por ser defectos y oportunidades de defecto presentados en la tabla 21 y se tiene en cuenta que la producción diaria promedio es de 1200 piezas. El cálculo del DPMO por tipo de defecto se presenta en la tabla 28.

Tabla 27. Cálculo de DPMO en Axle corp

<i>Defecto</i>	<i>D</i>	<i>U</i>	<i>O</i>	<i>TOP</i>	<i>DPU</i>	<i>DPO</i>	<i>DPMO</i>	<i>Nivel sigma</i>
<i>Data Matrix incorrecto ó sin Data Matrix</i>	1	1200	5	6000	0.00083	0.00017	167	5.09
<i>Oxido hub/housing</i>	3	1200	26	31200	0.00250	0.00010	96	5.23
<i>Concavidad</i>	1	1200	4	4800	0.00083	0.00021	208	5.03
<i>Rebaba en hub/housing</i>	4	1200	32	38400	0.00333	0.00010	104	5.21
<i>Entregas fuera de fecha</i>	4	1200	8	9600	0.00333	0.00042	417	4.84
<i>Pieza Golpeada</i>	5	1200	18	21600	0.00417	0.00023	231	5.00

**Value Stream Mapping (VSM):** Para tener una visión completa pero más detallada de lo que sucede en la cadena de suministros, el swat team solicita al Jefe de logística que realice el VSM detallado de sus operaciones en la cadena de suministro, obteniéndose el VSM presentado en la figura 28.

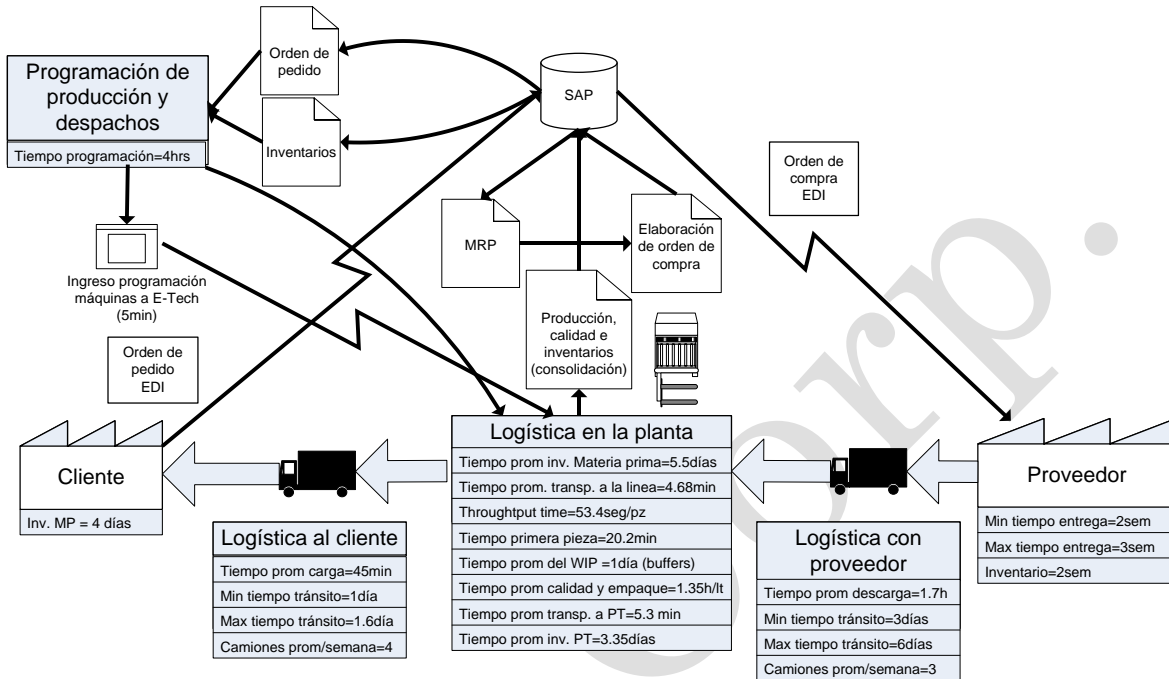


Figura 28. VSM de la cadena de suministro de Axle corp

Hallazgos de la etapa 1 de la fase de medición:

- La empresa no tiene registros que permitan obtener indicadores que midan el desempeño de los proveedores.
- No hay indicadores que midan el nivel de servicio que se ofrece al cliente.
- La exactitud del inventario es de tan solo el 74%
- A pesar de que el lead time es de tan solo dos días la rotación del inventario es muy baja
- El costo logístico representa el 56.4% del valor de las ventas
- Como se observa en la tabla 27, en el indicador DPMO hay oportunidades de mejora en todos los tipos de defectos para llegar al nivel seis sigma, especialmente en el caso de las entregas fuera de fecha.
- En el caso de defectos como óxido y piezas golpeadas sus defectos pueden provenir de producción y/o logística, por consiguiente se requiere de un análisis posterior más detallado para detectar las causas del problema.
- De acuerdo al VSM de logística se observa que la transferencia de información es básicamente manual a pesar de que se cuenta con un sistema de información como SAP.
- La programación de compras no se realiza de acuerdo a la explosión de materiales del sistema sino que se ajusta y se reingresa al mismo.

- La información de inventarios, producción y calidad no se transmite de forma electrónica y en tiempo real, por lo cual el sistema se alimenta hasta que termina la producción.
- La empresa cuenta con inventarios en todos sus puntos para amortiguar las falencias y variabilidad en tiempos de tránsito y manejo de información.

### ***Etapa 2. Determinación del enfoque y recolección de información***

De acuerdo a los hallazgos de la etapa anterior el Swat team decide establecer puntos de enfoque que permitan lograr el mayor impacto en el objetivo del proyecto. El resultado de éste razonamiento conduce a enfocar los esfuerzos en:

- Recolección de información acerca de la captura y entrega de datos al sistema. Objetivo: Estimar la cantidad de tiempo perdido en manejo de información y su impacto en la administración del inventario.
- Revisión de procedimientos de administración de bodegas, forma de manejo de productos, clasificación, alistamiento de pedidos, cuidado, entre otros. Objetivo: Reducir las diferencias de inventario, productos obsoletos o averiados en bodega y errores en los pedidos.
- Recolección de datos sobre tiempos de manejo de materiales dentro de la planta. Objetivo: Mejorar el flujo de productos en la planta para evitar acumulaciones de productos en ciertos puntos (wip) y retrasos en las entregas.
- Revisión de la elaboración del MRP de la empresa. Qué información es utilizada, cual es su veracidad y que tan actualizada se encuentra. Objetivo: Qué tan acertado es el MRP elaborado de acuerdo a su impacto en producción e inventarios.
- Recopilar información de cómo es el manejo de inventario en la bodega del cliente de producto en consignación. Objetivo: Analizar la necesidad real de inventario y como se realiza la manipulación de los productos en esta bodega.

Para la recolección de la información mencionada anteriormente se hace use de las siguientes herramientas:

***Muestreo:*** El muestreo se utilizará para la toma de los siguientes datos:

- Tiempo de generación y consolidación de información acerca de: Calidad, inventarios, elaboración de MRP y su ingreso a SAP.
- Tiempos del equipo de manejo de materiales (alimentación a producción y despachos)

### ***Revisión de procedimientos y estándares actuales:***

- Procedimiento de realización de inventarios (reporte de inventario de materia prima, producto en proceso, producto terminado, scrap, retrabajos, entre otros)

- Procedimiento de manejo de inventarios de la empresa en bodegas propias y del cliente (administración de bodegas, alistamiento, sistema de inventario, políticas de inventario)
- Procedimiento de planeación del requerimiento de materiales (MRP), como se establecen las necesidades?

### Hallazgos de la etapa 2 de la fase de medición:

- La empresa realiza el MRP manualmente debido a que no tiene disponible en el sistema toda la información necesaria para su elaboración. Para el MRP manual la empresa usa la siguiente información:
  - Pedidos recibidos vía EDI
  - Estado del inventario de MP y PT (reportes manuales)
  - Se asume desviación por problemas de calidad en un 30% para el proveedor A y el 20% para los otros. Estos niveles de calidad no tienen un soporte estadístico de cálculo
  - Se aproxima la compra a la unidad de venta del proveedor y capacidad del transportista
- Se tomaron realizaron dos muestreos de 60 datos cada uno, uno para el tiempo de transporte de la bodega a la línea de producción y el otro para el tiempo de la línea de producción a los camiones. El análisis de los datos arrojó que las muestras no sigue una distribución normal, sin embargo se realizan las gráficas de control con el fin de ver la dispersión de los datos (figura 29).

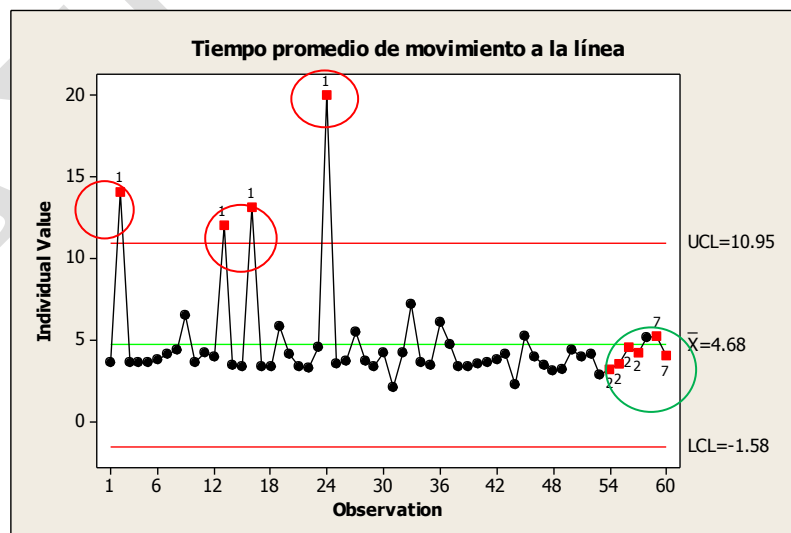


Figura 29. Gráfico de control del tiempo promedio de movimiento de la bodega a la línea

El análisis de las gráficas conduce a concluir lo siguiente:

- En el transporte de productos de la bodega a la línea de producción, los puntos fuera de control (figura 29) corresponden a mediciones donde se tuvo que esperar la disponibilidad de montacargas por encontrarse en proceso de carga y acomodación de productos en bodega. Los puntos resaltados con el círculo verde en este caso no representan una situación atípica o particular.
  - En el caso del transporte de la línea de producción a los camiones de despacho los datos presentan un comportamiento semejante en cuanto a los motivos de retraso, adicionando una mayor variación por demoras del proceso productivo y faltantes para completar el pedido.
- c. Los tiempos de recolección de información de calidad e inventarios son en promedio de 35.4 min y la desviación de 13.2 min. El tiempo de ingreso de información al sistema promedio es de 6 min teniéndose los datos organizados.
- d. En la revisión de los procesos de inventarios se observó lo siguiente:
- A pesar de que el inventario físico se realiza diariamente para las piezas principales del ensamble, no se realiza correctamente, encontrándose posteriormente referencias cruzadas en el inventario cuando van a ser usadas.
  - No hay un registro organizado de las fechas de entrada y salida de productos en las bodegas, por lo cual se dificulta realizar un control fifo.
  - Debido a que se debe ingresar primero el inventario al sistema para poder facturar y despachar los vehículos, la empresa trata de mantener inventario con el fin de no tener que pagar el transporte al cliente, sin embargo cuando no es posible esto, se asume el sobre costo de pago de transporte.
  - En la bodega de productos en consignación el cliente no mantiene un control de fecha de entrada de las piezas, no realiza un manejo fifo de las mismas y sólo reportan a Axle corp diariamente lo que se consume en producción y las piezas defectuosas encontradas en el proceso productivo.

### **3. Fase de análisis**

En esta etapa se buscará principalmente definir las causas del problema, alto costo del inventario, haciendo uso de la información obtenida en la etapa de medición.

**Diagrama causa efecto:** Se realizó una lluvia de ideas (Swat team, jefes y supervisores) que permitió detectar las causas del problema como se ilustra en la figura 30.

**FMEA:** El FMEA se realizó sin tener en cuenta las casillas de implementación porque aún no se han realizado mejoras. El FMEA de esta fase se presenta en el anexo 1.



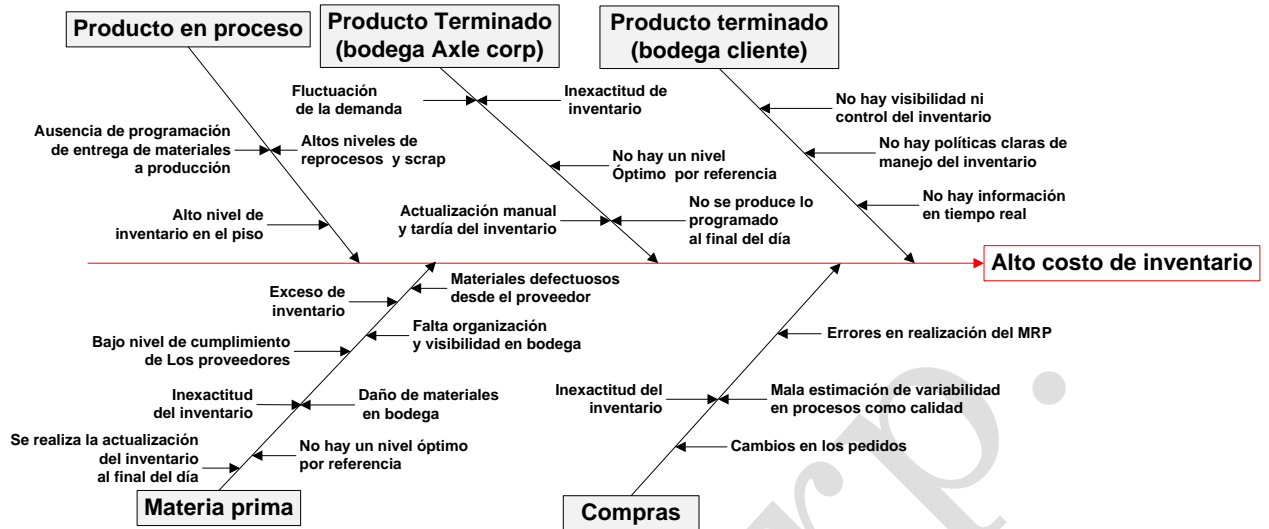


Figura 30. Diagrama causa – efecto para el problema de alto costo de inventario de Axle corp

#### 4. Fase de mejoramiento

De acuerdo a los hallazgos de los análisis anteriores el Swat team encontró que la solución para muchas de las causas del problema (alto costo del inventario) puede resolverse con la nivelación del flujo y la alineación de la cadena. El equipo sugiere trabajar la alineación en los siguientes campos:

- Alineación entre el suministro y la demanda
- Alineación en los flujos físicos y de información

Para trabajar en la nivelación del flujo y la alineación el Swat team propone estrategias de mejoramiento con base en: el manejo de información, compras e inventarios.

##### Estrategia de información:

**Sistema pull:** Las señales kanban sugeridas para este proceso son los contenedores vacíos y las tarjetas kanban. El número de contenedores vacíos indica que se está por debajo del punto de reorden y se considera dinámico porque debe variarse de acuerdo a los cambios en el comportamiento de la demanda si estos son significativos.

El contenedor vacío es el kanban del cliente, y a través del proceso productivo este kanban se convierte en tarjetas que indican el número de piezas. Se recomienda este sistema debido a que los contenedores de la materia prima y producto terminado son diferentes.

El objetivo de este sistema será producir solo lo que el mercado demanda y utilizar un bajo stock de seguridad para atender la variabilidad difícilmente controlable de la cadena.

***Integración vertical:*** La idea de la integración vertical es que la información relevante que compromete el desempeño operativo de todos los eslabones de la cadena sea compartida con el fin de tener una mayor visibilidad.

De forma específica el Swat team sugiere acuerdos de confidencialidad para compartir entre EM, Axle corp y los proveedores información importante como:

- EM: Niveles de venta, pronósticos, tasa de producción y stock de seguridad.
- Axle corp: Debe compartir con el cliente información como capacidad productiva, capacidad de respuesta y niveles de inventario. Con el proveedor debe compartir información de niveles de venta, tasa de producción, pronósticos y stock de seguridad.
- Proveedores: Deben compartir información de su capacidad de producción, capacidad comprometida con Axle corp. y capacidad de respuesta.

#### Estrategia de compras

Conociéndose que Axle corp cuenta con SAP se sugiere que todo el proceso de compra se realice a través de este sistema, para lo cual se recomienda:

- Configurar el software adecuadamente con los BOM's por producto
- Permitir la recepción diaria de órdenes de pedido y descargarlas en el sistema de forma automática
- Asignar en el sistema la variabilidad del proceso bajo un soporte estadístico (calidad y tiempo principalmente)
- Actualizar en tiempo real de los inventarios
- Dar de alta en el sistema el inventario de seguridad
- Configurar las unidades empaque en el sistema para que este realice de forma automática las aproximaciones a la unidad, es decir, no se presenten compras de contenedores medio llenos.

Con esta información configurada, el sistema podrá elaborar un MRP que represente verdaderamente las necesidades de la empresa.

#### Estrategia de inventario

- a) *Bodegas propias*

Para mejorar el manejo de inventario se sugiere el proceso que se ilustra en la figura 31.



Figura 31. Proceso recomendado para mejorar la administración de inventarios de Axle corp

En el punto 4, para la determinación del nivel mínimo de stock de seguridad se recomienda el modelo de punto de reorden para los productos tipo A y B.

Para los productos tipo C por ser en su mayoría utilizados para diferentes ensambles además del M1234, se calcula un punto de reorden consolidado para el ítem y se establecen las asignaciones para cada referencia con el propósito de no desabastecer a ninguna.

**5S's:** La implementación de las 5S es necesaria para eliminar el desperdicio, por lo cual el Swaat team responde a las siguientes preguntas para hacer sus recomendaciones:

Prioridades de eliminación de recurso	Preguntas
1. Almacenamiento y espacio	1. Cuánto nos cuesta el recurso?
2. Equipo de transporte	2. Para que se necesita el recurso?
3. Equipo de manejo de materiales	3. Cómo se operaría si no se tuviera ese recurso?
4. Estantería (racks) y equipo de almacenamiento	
5. Computadores y software	

Las respuestas obtenidas sugieren la implementación de las siguientes mejoras:

- Redistribución del espacio de almacenamiento por tipo de inventario
- Reducción general del espacio de inventario y mayor espacio para movimiento de los montacargas
- Organización de estantería y su adecuada distribución por tipo de productos y nivel de rotación. Los productos de mayor rotación se colocan en niveles bajos de estantería y con rutas más cortas para minimizar el tiempo y uso de recursos de manejo de materiales.
- Se evidenció la necesidad de software y recursos para control de inventario. (sistema de código de barras o RFID) Esto permitirá eliminar o reducir los procesos manuales, ahorrándose tiempo y evitando errores en la actualización de información de inventarios. El sistema será fundamental en la administración FIFO de las piezas.

**Poka-yoke:** Se sugiere un poka yoke al final de la línea de producción cuando se empaacan los productos. La propuesta es colocar al contenedor un sticker de color (fácil de retirar para reutilización de los contenedores) de acuerdo a la referencia para evitar confusiones posteriores en la bodega de PT de Axle corp y en la bodega del cliente. Esto facilitará la tarea de alistamiento de pedidos y reduce dramáticamente los errores por referencias cruzadas.

*b) Bodega del cliente*

Para el manejo de esta bodega se recomienda aplicar VMI, donde Axle corp conoce las necesidades de EM y genera los puntos de reorden de inmediato para evitar desabastecimiento. La efectividad de este sistema se mide por nivel de servicio.

Es conveniente pactar con EM que la administración de su bodega de MP sea igual que en las bodegas de Axle corp, con el fin de eliminar los problemas actuales de daños en los productos, inexactitud del inventario, obsolescencia y pérdidas de productos.

También se debe implementar la tecnología de manejo de inventarios (código de barras o RFID) para garantizar el sistema FIFO en esta bodega y eliminar el problema de oxidación en las piezas por mala rotación.

**Capacitación:** Es una herramienta fundamental para el éxito de las medidas planteadas debido a que la mayoría de las mejoras sugieren organizar adecuadamente las operaciones, y posteriormente garantizar su cumplimiento a través de la estandarización de los métodos de trabajo.

La capacitación es crítica en la reducción de daños en los productos porque estos se dan principalmente debido a situaciones de mal manejo de las piezas en bodega, producción, cargue de productos, y en general en las actividades de flujo. También es importante hacer de conocimiento del personal las estadísticas de calidad de piezas golpeadas y los costos que representan para la empresa con el objetivo de concientizar y demostrar la importancia e incidencia de su trabajo en este indicador.

Tecnologías habilitadoras

Para el manejo en tiempo real de la información y contando con que la empresa cuenta con un software como SAP, es posible integrar aplicaciones tecnológicas de captura de información que se transmitan en tiempo real al sistema, evitando operaciones manuales y errores en el manejo de información.

Para Axle corp se recomienda el uso de los códigos de barras de dos dimensionar y terminales portátiles con el fin de realizar la captura automática de información de los

---

productos y almacenarla ( en éstos códigos la información no se reduce sólo al código del artículo, sino que puede almacenar gran cantidad datos).

La empresa al implementar un sistema de código de barras podrá fácilmente registrar el ingreso de productos etiquetando las unidades de empaque provenientes del proveedor, así como las unidades de empaque al cliente.

La implementación del código de barras permitirá a Axle corp:

- Automatizar los proceso de inventarios (realización de inventario, recepción y salida de productos, alistamiento, transferencia de información en tiempo real).
- Permite obtener información rápida y oportuna sobre los productos.
- Incrementa la productividad y la eficiencia porque optimiza el tiempo en captura de información.
- Disminuye la posibilidad del error humano.
- Reducción de costos en la recolección de datos y un mejor servicio

#### 4. **Fase de control**

El control se llevará a lo largo de la cadena de suministro y debe iniciar al igual que la misma en el cliente.

**EM:** El desempeño del cliente debe ser medido, porque al ser la principal fuente de información para dar inicio al proceso en el sistema pull debe ser analizado para que no sea la causa de errores. La información básica a analizar es la siguiente:

- **Pronósticos:** Mantener un continuo análisis de la veracidad de los pronósticos suministrados por el cliente ya que son base en la planeación de Axle corp.
- **Calidad:** La empresa mide la calidad en su planta pero debe llevar un indicador de los defectos de calidad en el cliente, esto con el fin de mantener un control de las fuentes de errores y saber exactamente en qué punto de la cadena están surgiendo los defectos. Resultado de este indicador debe resultar una política de retornos autorizados del cliente, es decir, problemas realmente atribuibles a Axle corp.

#### **Axle corp.**

- **Indicadores:** Axle corp mantendrá un seguimiento de los indicadores críticos de su operación como son los de primer y segundo nivel como instancias obligatorias para tener una visión general.

En el caso de los indicadores de tercer nivel que son más específicos, se encuentran como básicos para Axle corp los siguientes:

- Rotación de inventarios
- Inversión en inventario
- Exactitud en inventario
- Calidad en el inventario (obsoleto, dañado, golpeado, etc)
- Órdenes no planeadas
- Indicador de alineación entre el suministro y la demanda (compras vs. ventas) en volumen y valor.
- Indicador de costo de oportunidad en todas las áreas funcionales:
  - Ventas perdidas por incapacidad de satisfacer las órdenes
  - Costos incurridos por exceso de inventario
  - Costos incurridos por pago de transporte al cliente y pago de medios de transporte más costosos con el proveedor
  - Costos incurridos por errores en transferencia de información

Se debe garantizar la permanencia de algunas herramientas de medición y control desarrolladas en etapas anteriores como son:

- Poka Yoke
- Control visual
- Estandarización de procesos
- La voz del cliente: Con esto se sugiere mantener una comunicación frecuente con el cliente para que se manifiesten todas aquellas situaciones especiales que no alcanzan a ser visibles a través de los indicadores, tanto positivas como por mejorar.
- Gráficos pareto

Proveedor: Monitorear su desempeño manteniendo vigilancia de la confiabilidad de sus procesos.

- Indicadores de servicio del proveedor. Los 8 deber ser en logística también los debe cumplir el proveedor (cada uno de ellos) para que Axle corp pueda responder adecuadamente al cliente y no tener que recurrir al inventario para amortiguar las fallas.

## **4.2. Conclusiones del caso de estudio**

La aplicación de la metodología es sencilla si se cuenta con un equipo que tenga conocimientos académicos y prácticos sobre: Estadística, finanzas, evaluación de proyectos y método científico. Adicional a esto, es fundamental que participen personas conocedoras de la empresa en los diferentes niveles

---

(estratégico, táctico y operativo) para abarcar todas las perspectivas en los diferentes análisis.

Mientras normalmente la recolección de información para el desarrollo del modelo puede parecer un poco tediosa cuando las empresas no acostumbran a tener la información organizada, en el caso de estudio la recolección de información fue en gran parte sencilla debido a la organización de la empresa, aunque se reconoce que es una actividad difícil por el tiempo que toma y la disponibilidad de las personas involucradas en las áreas donde se realiza la búsqueda.

A pesar de que a través del modelo LSSL se pueden definir proyectos muy específicos en determinada área de aplicación (ej: transporte inbound), los indicadores de primer nivel se consideran primordiales dentro de las empresas industriales y de servicios logísticos para mantener una visión general del desempeño. Para el área de inventarios como se resalta en el caso de estudio, se recomiendan adicionalmente otros indicadores relevantes de tercer nivel como son: Rotación de inventarios, inversión en inventario, exactitud en inventario, calidad en el inventario (obsoleto, dañado, golpeado, etc), alineación entre el suministro y la demanda (compras vs. ventas) e indicador de costos.

Para las fases de definición, medición y control se recomienda el uso de todas las herramientas recomendadas en el modelo, en la fase de análisis la selección de herramientas depende del tipo de datos y variables que se manejan y en la fase de mejoramiento la selección de herramientas depende del tipo de proyecto (área funcional y nivel de planeación), nivel de inversiones y beneficios esperados.

Para proyectos de mejoramiento en inventarios se recomienda principalmente el uso de las herramientas “Lean”, porque es un proceso sistemático que depende en gran medida de la correcta organización, clasificación y visibilidad de los productos, y de los adecuados métodos de trabajo.

Aunque no fue posible utilizar la herramienta de simulación en la etapa de mejoramiento porque no se llegó a esta implementación, para el caso de optimización de espacios, número de contenedores y niveles de inventario esta es una herramienta que ofrece gran información y contribuye ampliamente en la acertada toma de decisiones. Su principal ventaja frente a los modelos de optimización tradicionales para la determinación de niveles de inventario es que permite manejar distribuciones en las llegadas, tiempos de atención, daño de maquinaria y reparaciones, turnos, etc; que es información más aproximada de la realidad porque contempla la variabilidad dentro del sistema.





## Conclusiones y recomendaciones

---

### Conclusiones

- Se considera útil el modelo LSSL debido a que la operación logística es un área de grandes oportunidades en las empresas mexicanas, dado que México ocupa el puesto 56 de 150 países en desempeño logístico.
- En este documento se desarrolla y documenta el modelo de desarrollo LSSL que orienta a las empresas en el análisis, diseño ó rediseño de sus operaciones logísticas, mediante la aplicación de los principios y herramientas de “Lean Manufacturing” y “Six sigma”.
- Por primera vez se ha desarrollado un modelo en el cual haciendo uso de los elementos planteados (enfoque, desarrollo y resultado) y la estrategia de alineación de la cadena de suministro, se conduce al logro de los objetivos logísticos.
- De los objetivos “Six sigma” que se concluyen principales y se logran a través del modelo LSSL están la reducción de la variabilidad y los defectos para agregar mayor valor. De los objetivos “Lean”, se encuentran relevantes y alcanzables a través del modelo LSSL el incremento de la velocidad de flujo y la eliminación del desperdicio.
- El modelo LSSL se constituye de cuatro pilares que son la estrategia, los elementos de enfoque, los elementos de desarrollo y los elementos de resultado. La estrategia conduce a la alineación de la cadena de suministros, los elementos de enfoque sugieren la atención permanente en el cliente, el proceso y los hechos y datos; los elementos de desarrollo se fundamentan en aplicación de la metodología DMAIC para logística y los elementos de resultado permitirán el logro de los objetivos de la empresa.
- El éxito del modelo LSSL dependerá fundamentalmente del compromiso de los líderes de la organización, que a través de su ejemplo y promoción

motivan a las personas a adoptar la cultura “lean six sigma”, y a través de su apoyo brindan los recursos necesarios para la ejecución de proyectos.

- A través del desarrollo del caso se encuentra que para la solución de proyectos en el área de inventarios las herramientas fundamentales de mejoramiento son “Lean” y la simulación de “six sigma”.
- Como fortalezas del modelo se da la solución de interrogantes a través del uso de las herramientas recomendadas en las diferentes etapas, y adicional a esto la importancia de que la definición de proyectos parte de tres enfoques clave para el éxito de las organizaciones (cliente, procesos y conocimiento e interpretación de hechos y datos). Finalmente, también se considera una fortaleza el hecho de incorporar la alineación de la cadena de suministro como estrategia integradora para el logro de los objetivos logísticos.
- Como oportunidad de mejora del modelo se encuentra la posibilidad de establecer en la etapa de mejoramiento herramientas específicas para cada una de las áreas logísticas (inventarios, transporte, diseño de la red), en los diferentes niveles de planeación. Para esto se considera necesario capturar los modelos de entornos reales y ofrecer soluciones a problemas específicos.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda aplicar el modelo LSSL a una empresa prestadora de servicios logísticos con el propósito de validarlo.
- En un trabajo futuro se recomienda incluir la perspectiva ambiental a través del concepto de logística de reversa. La aplicación del concepto de logística de reversa puede ser visto como un proyecto de mejoramiento a implementar en las organizaciones, como parte del modelo al contemplar la logística de reversa como un elemento de la cadena de suministro que también debe alinearse de acuerdo a la estrategia, ó como un elemento de enfoque (Ambiental) del modelo para que no se pierda de vista su importancia durante el desarrollo de la metodología.

**Anexos**

---

Empresa: **AXLE CORP.**

Responsable: Gerente de planta

Fecha: Febrero 12 /2009

Equipo: Olga L. Mantilla

SEV: Qué tan severo es el efecto para el cliente  
 OCC: Frecuencia con la que se produce el fallo  
 DET: Que tan probable es detectar el fallo antes de que llegue al cliente  
 RPN: Número de prioridad de riesgo

Proceso	Modo potencial de fallo	Efecto potencial del fallo	SEV	Causas potenciales	OCC	Controles actuales	DET	RPN	Acciones recomendadas
<b>Compra de materiales</b>	Inventario bajo	Incapacidad de cumplir con la producción	10	Incumplimiento de proveedores (producto y transporte)	7	No hay un proceso de control para evitar la situación	3	210	Calcular para cada tipo de producto un punto de reorden dinámico acorde al comportamiento de la demanda
	Inventario alto	Exceso de inventario, altos costos	6	Errores en inventario	9	No hay un proceso de control para evitar la situación	2	108	Calcular para cada tipo de producto un punto de reorden dinámico acorde al comportamiento de la demanda
	Inventario inexacto	Compras equivocadas	8	Mala administración del inventario físico	6	No hay un proceso de control para evitar la situación	3	144	Implementar un control visual por referencias y captura electrónica de datos
<b>Generación de orden de compra</b>	Ingreso equivocado de información al sistema	Incapacidad de cumplir con la producción	10	Elaboración manual de requerimientos	5	No hay un proceso de control para evitar la situación	3	150	Configurar adecuadamente el sistema para tener un MRP sistematizado más exacto
<b>Manejo de material en bodega</b>	Referencias cruzadas en sistema, inexactitud de inventario	Errores en la planeación de la producción y MRP	9	Captura manual de datos	7	No hay un proceso de control para evitar la situación	5	315	Implementar un control visual por referencias y captura electrónica de datos
	Productos oxidados y/u obsoletos	altos costos	6	Error en la ubicación de productos en bodega	7	No hay un proceso de control para evitar la situación	4	168	El control de la bodega por referencias debe ser por fecha de entrada, manejar sistema FIFO
	Pérdidas	Altos costos	6	Captura y actualización de inventario manual	4	No hay un proceso de control para evitar la situación	1	24	Captura electrónica de entradas y salidas de inventario que alimenten el sistema

<b>Manejo de material en piso</b>	Alimentación tardía de las líneas	Retraso en la producción	8	Programación de uso de recursos de movimiento de materiales	7	No hay un proceso de control para evitar la situación	7	392	Programación del uso de montacargas para evitar saturación y ocio en ciertas horas
	Cargue tardío de productos a vehículos	Retraso en el despacho	9	Programación de uso de recursos de movimiento de materiales	9	No hay un proceso de control para evitar la situación	9	729	Programación del uso de montacargas para evitar saturación y ocio en ciertas horas
	Material de más en el piso	Interferencia en en flujo en el piso de la planta	5	Falta de programación y control en la entrega de MP a las líneas	10	No hay un proceso de control para evitar la situación	5	250	Alimentar la línea de acuerdo al programa de producción y la desviación de calidad
	Faltante de material	Bloqueo de producción por falta de MP	8	Falta de programación y control en la entrega de MP a las líneas	8	No hay un proceso de control para evitar la situación	4	256	Alimentar la línea de acuerdo al programa de producción y la desviación de calidad
	Daño del sistema de manejo de materiales	Retraso en todo el proceso	9	Falta de mantenimiento preventivo	5	No hay un proceso de control para evitar la situación	3	135	Realizar mantenimiento preventivo en horas de bajo uso
<b>Control inventario en bodega del cliente</b>	Inventario alto	Altos costos	8	Falta comunicación en el inventario y demanda real del mercado entre el cliente y la empresa	8	No hay un proceso de control para evitar la situación	8	512	Mantener información en tiempo real del inventario y su consumo (intercambio electrónico)
	Inventario bajo	Falta de materia prima para el cliente	10	Falta comunicación en el inventario y demanda real del mercado entre el cliente y la empresa	6	No hay un proceso de control para evitar la situación	8	480	Mantener información en tiempo real del inventario y su consumo (intercambio electrónico)
	Inventario inexacto	Altos costos	7	Error en la transferencia de información	9	No hay un proceso de control para evitar la situación	9	567	Captura electrónica de entradas y salidas de inventario y transferirlas electrónicamente a la planta. Realizar inventario físico mensual

<b>Pedidos del cliente</b>	Pedidos urgentes	Cambios en la programación de la producción	10	Falta comunicación en el inventario y demanda real del mercado entre el cliente y la empresa	7	No hay un proceso de control para evitar la situación	1	70	Implementar un sistema de comunicación eficiente con el cliente donde la empresa conozca su demanda real (la del cliente)
	Cambios en el pedido	Errores en la programación y entrega de productos	10	Mala estimación de las necesidades por parte del cliente	6	No hay un proceso de control para evitar la situación	6	360	Implementar un sistema de comunicación eficiente con el cliente donde la empresa conozca su demanda real (la del cliente)
<b>Transporte</b>	Retrasos en la salida de vehículos	entregas tardías, altos costos y mal servicio	9	Demoras en el proceso de producción, facturación o cargue de vehículos	10	No hay un proceso de control para evitar la situación	9	810	Con información en tiempo real de inventarios y producción se agilizan los procesos posteriores
	Carga incompleta	Mayores costos en la cadena	10	Mala programación de vehículos o lotes de entrega	8	No hay un proceso de control para evitar la situación	5	400	Programación de vehículos de acuerdo a cantidad de producto a despachar
	Carga mal acomodada	Piezas golpeadas	10	Personal no capacitado en el manejo y acomodación de los productos	6	No hay un proceso de control para evitar la situación	10	600	Capacitar al personal en el manejo y acomodación del producto

Tabla 28. FMEA de la administración logística de Axle corp

---

---

## Bibliografía

---

1. *Defining Supply Chain Management*. **John Metzger, William DeWitt, James Keebler, Soonhong Min, Nancy Nis, Carlos Smith, Zach Zacharia**. 2, s.l. : Journal of Business Logistics, 2001, Vol. 22.
2. **(CSCMP), Council of Supply Chain Management Professionals**. [www.cscmp.org](http://www.cscmp.org). [Online] 2008.
3. *Efficient purchasing in Make-to-order supply chains*. **Jonni Jahnukainen, Mika Lathi**. 103-111, Finland : International journal of production economics, 1999, Vol. 59.
4. Secretaría de Economía. [Online]  
<http://www.elogistica.economia.gob.mx/logmex.htm>.
5. **Secretaria de Economía, México**. [Online]  
<http://www.elogistica.economia.gob.mx/file/LOGISTICA0812.pdf>.
6. **Ballou, Ronald**. *Logística, Administración de la cadena de suministros*. Quinta edición : Prentice Hall.
7. *theory of base 6 Successfully Implementing the Lean Supply Chain*. **Robert Martichenko, Tomas Goldsby**. s.l. : Supply Chain Comment, 2006, Vol. 40.
8. **Mora, Luis Aníbal**. Webpicking. [Online]  
<http://www.webpicking.com/hojas/indicadores.htm>.
9. **Sunil Chopra, Peter Meindl**. *Administración de la cadena de suministro: Estrategia, planeación y operación*. México : Pearson, Prentice Hall, 2008. ISBN: 978-970-26-1192-9.
10. *Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review*. **Wiming Shen, Qui Hao, Hyun Joong, Yoon a, Douglas Norrie**. 415-431, s.l. : Advanced Engineering informatics, 2006, Vol. 20.
11. *Creating a Lean supplier network: a distribution industry case*. **Peter Hines, Nick Rich, Ann Esain**. 235 - 246, s.l. : European Journal of Purchasing & Supply chain management, 1998, Vol. 4.
12. **Baudin, Michel**. *Lean Logistics: The nuts and bolts of delivering materials and goods*. s.l. : Productivity press, 2004.
13. **Thomas Goldsby, Robert Martichenko**. *Lean six sigma Logistics: Strategic development to operational success*. s.l. : J.Ross Publishing Inc., 2005. 1-932159-36-3.
14. *Lean six sigma: some basic concepts*. **Helen Bevan, Neil Westwood, Richard Crowe, Michael O'Connor**. s.l. : NHS Institute for innovation and improvement, 2007.
15. **George, Michael L**. *Lean Six Sigma: Combining six sigma quality with lean speed*. s.l. : McGraw - Hill, 2002. 0-07-138521-5.

16. *Business process best practices: Project Management or Six Sigma?* **Hoon Young, Wetter John J., Anbari Frank.** s.l. : Project Management Institute, 2006.
17. **Yacuzzi, Enrique.** QFD: Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos. *Universidad de CEMA.* 2000.
18. **Ronald G. Askin, Charles R. Standridge.** *Modeling and analysis of manufacturing systems.* s.l. : John Wiley & Sons, Inc., 1993.
19. **Taylor, G. Don.** *Logistics Engineering Handbook.* Boca Ratón, Florida : CRC Press, 2008.
20. **Levine, David M.** *Statistics for Six sigma Green belts with Minitab and JPM.* New Jersey : Prentice Hall, 2006. 0-13229195-9.