

CAPÍTULO 2

Nociones básicas de Lean Manufacturing y Six Sigma

Carlos Alberto Escobar P.

Este capítulo no pretende presentar información nueva sobre las temáticas a desarrollar, la idea es exponer al lector un breve marco teórico de las nociones básicas de *Lean Manufacturing* y *Six Sigma*, que contribuya a la comprensión de los temas y herramientas utilizadas en el desarrollo de los casos prácticos presentados en los capítulos tres y cuatro. Los casos no profundizan en el componente teórico, ni en el paso a paso de la implementación de las herramientas usadas, sino que se centran en los resultados logrados. Por lo tanto, las nociones básicas que se desarrollan en este capítulo resultan importantes para que el lector entienda cómo se llegó a dichas metas.

Introducción a los sistemas *Lean* y *Six Sigma*

Actualmente, las empresas necesitan encontrar soluciones en su modo de gestión para afrontar determinados retos a los que la competencia, el mercado y el entorno institucional las somete. Dichos retos están relacionados con mercados que solicitan lotes de producción con cero defectos, menor cantidad de unidades, tiempos de entrega más cortos, bajísima variabilidad en las especificaciones, entregas más frecuentes, tendencia de precios decrecientes y aumento de las exigencias en las especificaciones y características de los productos. Todo esto es posible mediante la utilización de estrategias administrativas y operativas globales donde se involucren las materias primas y suministros, las maquinas, las herramientas, las metodologías de fabricación y las personas teniendo como objetivos la conformación de una técnica o metodología que facilite y se garantice la eliminación de los errores potenciales y desperdicios en todas operaciones de la organización.



Las metodologías *Lean Manufacturing* y *Six Sigma* son unas de las más poderosas herramientas de administración y manufactura diseñadas para lograr que las organizaciones, con disciplina y persistencia en su modo de operación, logren incrementar su participación en los mercados, con base en reducciones amplias en sus costos generales, eliminación de los desperdicios, bajos niveles de variabilidad en sus procesos (Hernández y Vizán, 2013, p. 64), las especificaciones de producto y una inmensa participación del recurso humano en el establecimiento de normas y sistemas operativos de control que garanticen rentabilidad para las organizaciones de cualquier tamaño.

Lean Manufacturing se define como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 158), entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo; su esencia radica en descubrir continuamente en toda la empresa oportunidades de mejora ocultas, pues siempre habrá residuos susceptibles de ser eliminados (Drohomeretski et al., 2014, p. 808).

Dado que la diferencia entre los conceptos es de forma y no de fondo, en el presente trabajo se entenderá el *Lean Manufacturing* como un enfoque de gestión que cubre desde la materia prima el proceso de producción, hasta llegar al producto terminado para entrega al cliente, y que más que un sistema, es un conjunto de aplicaciones para eliminar operaciones que no agregan valor al producto, bien sea por servicios o por procesos. La definición de Lean abarca todos los procesos, incluyendo tanto las actividades comerciales, de diseño, de ingeniería, de administración, etc.,



como las actividades de fabricación y prestación de servicios. También es válida y aplicable, del mismo modo, tanto en empresas pequeñas de servicios a medida con bajo volumen, como en empresas multinacionales de fabricación de gran volumen. Por lo tanto, una empresa Lean cubre todo espectro de la cadena de valor y no está limitada, como muchos creen, a las empresas de fabricación repetitiva y de gran volumen. (Asturias Corporación Universitaria, s. f.)

Los tres pilares básicos sobre los que se sustenta la gestión Lean son:

- **Enfoque y orientación plena hacia el cliente:** aportar valor real al cliente, dándole un producto o servicio que atienda su necesidad completamente, minimizando el costo, proporcionando exactamente aquello que requiere, donde y cuando lo demanda.
- **Eliminación del despilfarro:** luchar sin tregua para detectar y eliminar el despilfarro, entendiendo el despilfarro como todas las actividades de un proceso que no aportan valor al cliente y que si añaden costos. Todas las tareas que se realizan y no aprecia el cliente, sobran.
- **Flexibilidad de los procesos:** los procesos han de adaptarse y responder ágilmente a la demanda del mercado y sus cambios, tanto en términos de tipo de producto (diseño), como de capacidad(escalas) o plazos de entrega (rapidez).

La metodología *Six Sigma* se define como una herramienta que identifica la variabilidad de los procesos y se centra en la eliminación de defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio (Hamid



Tohidi, 2012, pp. 895-906). La meta de *Six Sigma* es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades, entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o un servicio no logra cumplir los requerimientos fijados por el cliente. Obtener 3,4 defectos en un millón de oportunidades es una meta bastante ambiciosa pero logable, si se considera que normalmente en un proceso el porcentaje de defectos es cercano al 10 %, o sea 100.000 defectos en un millón de oportunidades; 3,4 defectos en un millón de oportunidades es casi decir “cero defectos”.

La metodología *Six Sigma* fue iniciada en Motorola en el año 1982 por el ingeniero Bill Smith (Pande y Holpp, 2002), como una estrategia de negocios y de mejora de la calidad, no obstante, posteriormente fue mejorado y popularizado por General Electric

Bases teóricas y fundamentación

El pensamiento *Lean* proporciona un método para generar valor en los procesos productivos, alineando las acciones productivas de acuerdo con una secuencia lógica y óptima, llevando a cabo las actividades productivas de manera ininterrumpida y persiguiendo incansablemente la eliminación total de las actividades que solo agregan costo al producto o servicio (Felizzola Jiménez y Luna Amaya, 2014, p. 264) en el ámbito de la manufactura y los servicios. Pero en la actualidad investigadores y expertos en el tema han encontrado hallazgos que evidencian dificultades en la implementación de este tipo de enfoques en pequeñas y medianas empresas PYMES.



La metodología se fundamenta en integrar actividades para lograr la producción mediante inventarios mínimos, trabajo sobre operaciones que agregan valor, aplicación de la lógica de que nada se produce hasta que no se necesite, reducción de tiempo entre la colocación del pedido y la entrega del mismo a través de la eliminación de los desperdicios y la involucración del colaborador (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 158) para generar en él un sentido de pertenencia al participar en el proceso de proponer sus ideas sobre cómo hacer mejor las cosas. Esta fundamentación se logra aplicando las bases teóricas de herramientas, métodos, técnicas metodológicas, conceptos y políticas empresariales, organizadas alrededor de la organización flexible y especializada para fabricar órdenes de producción muy pequeñas.

El desarrollo de modelos de gestión que llevaron al mejoramiento continuo y flexible de las formas de producción, dio origen a mediados del siglo pasado al Sistema de Producción Toyota (TPS o *Toyota Production System*), el cual bajo la premisa de producir lo necesario, en las condiciones requeridas y en el momento oportuno, integrado con la participación de los colaboradores y centrando esfuerzos en actividades que no aportan valor para el cliente, transmite beneficios sostenidos en calidad, productividad, seguridad y oportunidad; agrupando una serie de técnicas para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial [(Pérez, 2011); Todurut et al. (2010); Todurut et al. (2010)]. Divulgado en occidente bajo el concepto –*Lean Manufacturing* o –*Lean Production*.



Características de los sistemas *Lean*

Lean Manufacturing es una filosofía versátil que puede ser adoptada en diferentes escenarios del sector industrial (Sarria et al. (2017)). Por su diseño se ha establecido que la metodología tiene las siguientes características principales:

- Organizar las empresas de forma flexible para poder producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a menores volúmenes de producción.
1. Establecer entregas de lotes pequeños sobre una base diaria de fabricación, considerando que los equipos no necesariamente deben funcionar a plena capacidad.
 2. Buscar calidad perfecta a primera vista, esto se logra enfocándose en la fabricación con cero defectos, mediante la detención y solución de los problemas en su origen (Garza-Reyes, 2015).
- Lograr la minimización del despilfarro, mediante la suspensión de actividades que no agregan valor y la optimización y buen uso de los recursos escasos como el capital, el talento humano y los espacios.
 - Enfocarse en el mejoramiento continuo, logrando la reducción de los costos, una calidad certificada, canales efectivos de manejo de la información y aumento de la productividad.
3. Implementar una metodología de programación y producción siguiendo las técnicas de la metodología *Pull*, es decir, los clientes finales determinan los niveles de fabricación.

- Promulgar la construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores, tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costos y la información.

Características de los sistemas *Six Sigma*

Los mercados en la actualidad, debido a la globalización de las economías, es necesario alcanzar alta eficiencia en los procesos por medio de la utilización de herramientas de mejoramiento, estandarización y control de la producción, para lograr que se conviertan en objetivos tanto del área de ingeniería como de manufactura. Dentro del enfoque de la mejora de procesos, una parte importante es la eliminación de todo tipo de desperdicios debido a los altos costos operativos que estos representan (tiempo productivo, reprocesos, materia prima, insumos, tiempos de espera, sobreproducción, movimientos innecesarios) (Tejeda, 2011, p. 277), los cuales son el centro de este capítulo.

De esta manera se hace uso de la metodología DMAIC que parte de la filosofía *Six Sigma*, la cual, por medio de pasos sistemáticos, permite realizar un diagnóstico de la problemática por trabajar a través de la caracterización del proceso y la aplicación de herramientas estadísticas para identificar las causas que tienen mayor impacto sobre el problema, con el fin de llegar a proponer mejoras encaminadas a mitigar dicho efecto y convertirse en un proceso de mejora continua (Escalante Vázquez, 2010).

En la primera parte de esta metodología se realiza un despliegue de los referentes teóricos en los cuales se soportan todos los conceptos y operaciones realizadas. En segunda instancia se estructura la información



de manera que se reconozcan fácilmente los datos que están pendientes por identificar, para posteriormente definir en el sistema analizado los desperdicios que se desprenden del proceso.

En la tercera parte se procesa la información con la que se caracteriza el sistema, mediante el uso de las métricas sigma y se establece el estado actual del proceso. Al llevar a cabo el análisis de Pareto se determinan los tipos de desperdicios que más impacto están aportando a la producción de los desperdicios en el proceso de generación (Pande y Holpp, 2002, p. 92) a estos residuos se les realiza un análisis con el fin de lograr proponer mejoras en la metodología y el sistema de control de las propuestas por implementar, de forma que sean sostenidas en el tiempo.

Existen muchas y diferentes herramientas que se pueden utilizar para la reducción de desperdicios de un producto y los costos asociados a estos, algunos ejemplos de ellos son las técnicas específicas de la manufactura esbelta y de la metodología Seis sigma como: el diagrama SIPOC (por sus siglas en inglés: Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customers), el diagrama de flujo, la matriz QFD (por sus siglas en inglés: Quality Function Deployment), el método DMAIC que incluye las herramientas estadísticas en toda su gama, el diagrama espina de pescado, etc. (Gutiérrez Pulido y Vara Salazar, 2004, p. 139).

En términos generales el *Six Sigma* representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta. Como métrica, es una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de calidad con relación al producto o servicio y determinar si este se encuentra dentro de las especificaciones.

Como filosofía de trabajo, significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyados en la aplicación de la metodología DMAIC que involucra el uso de herramientas estadísticas, además de otras de apoyo (Jacobs y Chase, 2013, p. 288).

Como meta, un proceso con nivel de calidad *Six Sigma* significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos.

El proceso de *Six Sigma* se caracteriza por la aplicación de las cinco etapas concretas del modelo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar/ implementar y controlar).

- Definir el problema o el defecto.
- Medir y recopilar datos.
- Analizar los datos medidos.
- Mejorar por medio de un plan para implementar los rediseños y modificaciones en procedimientos existentes.
- Controlar y estandarizar la mejora.

D (Definir – Define)

En la fase Definir se documentan los procesos que la compañía tiene para ofrecer a sus clientes, se precisa cómo identifican las actividades que dan valor en cada proceso, se reconocen y se registran los requerimientos de los clientes, también los medios de información utilizados, tanto internos como externos, se elabora un mapa de flujo de valor, se delimitan los problemas potenciales por resolver, así como los objetivos que se busca alcanzar con el desarrollo del proyecto (Jacobs y Chase, 2013).



M (Medir – Measure)

La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto y la recopilación de toda la información sobre el proceso, determinando así las características y parámetros clave (variables de entrada), también se determina qué y cómo medir (Felizzola Jiménez y Luna Amaya, 2014). A partir de esa caracterización se define el sistema de medida y se valora la capacidad del proceso. En esta etapa es necesario conocer cuáles variables del proceso son fundamentales para sus clientes y cómo son las mediciones que se le realizan a esos parámetros.

A (Analizar – Analyze)

En la fase de análisis el equipo reconoce los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir, las variables clave de entrada o “poco vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso. Analizar los datos recopilados facilita la determinación de las causas del problema que probablemente afecten la falta de estabilidad del proceso, como también al análisis del rendimiento actual para limitar el problema del mal funcionamiento de los procesos (Garza et al., 2016). En esta etapa se establecen nuevos objetivos y se crea el plan de mejora con su mapa y rutas para alcanzar el objetivo (Antony y Kumar, 2011).

I (Mejorar – *Improve*)

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso (Sreedharan y Sunder, 2018, p. 899). Algunas de las preguntas claves en esta etapa son:

¿Las fuentes de variación dependen de un proveedor? Si es así, ¿cuáles son?

¿Quién es el proveedor? Y ¿Qué está haciendo para monitorearlas y/o controlarlas?

¿Qué relación hay entre los parámetros de medición y las variables críticas?

¿Interactúan las variables críticas? ¿Cómo lo definió? Muestre los datos ¿qué ajustes

sobre las variables son necesarios para optimizar el proceso? ¿Cómo los definió? presente los datos.

C (Controlar – *Control*)

La fase de control consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto *Six Sigma* se mantenga una vez que se hayan implementado los cambios (controlando las variables vitales). En la estandarización e integración de las mejoras al proceso se definen los mecanismos de control del proceso y se da cierre



al proyecto (Salazar y Gutiérrez Pulido, 2009). Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve.

Algunas de las preguntas por tener en cuenta en esta etapa son:

Para las variables ajustadas ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?

¿Cómo lo definió? Presente los datos ¿Qué tanto se ha mejorado el proceso después de los cambios? ¿Cómo lo define? Exponga los datos ¿Cómo hace que los cambios se mantengan? ¿Cómo monitorear los procesos? ¿Cuánto tiempo o dinero ha ahorrado con los cambios? ¿Cómo lo está documentando? presente los datos.

Resultados

Conceptualmente los resultados de los proyectos *Six Sigma* se obtienen por dos caminos. Los proyectos consiguen, por un lado, mejorar las características del producto o servicio, permitiendo obtener mayores ingresos, y por otro, el ahorro de costos que se deriva de la disminución de fallas o errores y de la disminución de tiempos de ciclo en los procesos.

Si el promedio de los datos del proceso es igual al valor meta, entonces el proceso está centrado, de lo contrario se dice que está desviado. El nivel de calidad puede ser expresado como k sigma, en donde k se obtiene al dividir la mitad de la tolerancia entre la desviación estándar del proceso. Por ejemplo, si tenemos un proceso con una meta de 100 y una tolerancia de más/menos 12, si la desviación estándar S , es igual a 4 el proceso tiene



un nivel de calidad de 3 sigma y si la desviación estándar es 2, el proceso tiene un nivel de calidad de *Six Sigma*.

Principios generales en los sistemas *Lean*

En la metodología *Lean Manufacturing* se han definido los siguientes principios:

- Identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios.
- Eliminar inventarios a través del JIT (por su sigla en inglés *Just inTime*).
- Reducción de las estructuras de costos para mejorar las comunicaciones internas y externas causantes de actividades burocráticas.
- Reducir los tiempos de diseño del producto, como también el tiempo de ciclo de fabricación, identificando la corriente de valor y con la creación de un flujo continuo para evitar los cuellos de botella.
- Introducir continuamente los ajustes y cambios que se requieran para fabricar productos más robustos, confiables en su calidad y con eficiencia en su elaboración.
- Establecer los métodos y secuencias de control de calidad para garantizar y certificar la confiabilidad en los productos elaborados.
- Capacitar y empoderar al recurso humano en los procesos transversales, facilitando el aumento de la autonomía y flexibilidad en la toma de decisiones durante la elaboración de los procesos (Cuatrecasas Arbós, 2012).



- Facilitar la creación de canales de información que mejoren la interacción con el mundo exterior y adquisición de los avances tecnológicos que lideran la productividad y sostenibilidad de la empresa en los mercados.

Principios específicos en los sistemas *Lean*

La metodología hace énfasis en la aplicación de los principios actuando sobre el producto y los procesos, que se resumen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1
Principios en los sistemas Lean.

Principios que impactan la producción	Principios que impactan el producto
Producción en pequeños lotes JIT.	Rápida sustitución de modelos de productos.
Mínimo inventario en proceso.	Expansiones frecuentes de modelos de productos.
Utilización de tarjetas Kanban.	Alto nivel de ingeniería en proveedores.
Alto nivel de subcontratación.	Jefe de proyectos de alta representatividad.
Empleados multidisciplinares.	Continuidad en equipos de diseño y dirección.
Uso selectivo de la automatización.	Sistemas de comunicación ágiles y directos.
Proceso continuo de mejora incremental.	Uso de expertos en diseño de útiles asistido por computador.
Sistemas de cambios rápidos.	Mejora continua incremental del producto.
Descentralización en la toma decisiones.	

Fuente: adaptado de Krajewski, Ritzman, Malhotra, y González (2013).

Beneficios de los sistemas *Lean*

En la Tabla 2.2. se presentan las actividades que se realizan en el proceso para la conformación de los beneficios de la metodología (Alexander, Antony, y Rodgers, 2019).

Tabla 2.2
Actividades y beneficios en los sistemas Lean.

Actividades	Beneficios
Fáciles formas de detención de inconformidad en los productos.	Disminución de los niveles de desperdicio.
Elaboración de programación sin cuellos de botella.	Reducción de los costos de producción (Reyes Aguilar, 2002).
Proveedores estratégicos con abastecimiento gradual.	Reducción del nivel de inventarios.
Método de fabricación tipo <i>Pull</i> (por pedido).	Reducción de los niveles de inventario previniendo la sobreproducción.
Recurso humano polifuncional en calidad, manufactura y mantenimiento.	Operación con menos recurso humano.
Sistema de mantenimiento preventivo, seguimiento a las tasas de rendimiento y de calidad.	Crecimiento de la eficiencia global y en los tiempos de entrega.
<i>Layout</i> de los procesos manteniendo flujo y secuencia.	Disminución de los tiempos de movimientos internos y transporte.

Fuente: Alexander, Antony y Rodgers (2019).



Desperdicios mortales

Se entiende como exceso o desperdicio toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso (Krajewski et al 2013., p. 276), pero sí costo y trabajo, la metodología *Lean* ha identificado siete grandes desperdicios que son susceptibles de ser eliminados o reducidos (Ohno, 1988), a continuación se presentan las definiciones adaptadas del autor Ohno:

La sobreproducción

Se clasifica como sobreproducción a todas las actividades que hacen MÁS de lo requerido por el siguiente proceso, hacer la producción ANTES de lo requerido por el siguiente proceso, elaborar la producción más rápido de lo requiere el siguiente proceso. En resumen, producir cualquier cosa que no sea para usar o vender inmediatamente. Es decir, utilizar recursos en momentos y cantidades en los cuales el siguiente proceso o los clientes no los requieren.

La sobreproducción causa:

- Manipulación extra de los productos.
- Espacio extra para almacenar el producto.
- Equipo extra para procesar los productos que van para inventario.
- Más gastos por diligenciado de documentos extras.
- Más productos en inventario.
- Más horas hombre manipulando productos para inventario.



Las Esperas

La metodología ha identificado y definido que esperar no es una actividad que agregue valor al producto y es necesario eliminarse o reducirse para que no cause aumento de los costos. Se presentan tiempos ociosos u horas hombre adicionales cuando se tiene que esperar personal, materias primas esperando ser procesadas, mediciones, información, aprobaciones, ajustes adicionales en los equipos, línea de fabricación esperando reparaciones (Guerrero, 2016).

Algunas causas del tiempo de inactividad son (Asturias Corporación Universitaria, s. f.):

- Deficiente distribución de los equipos (*Layout*).
- Planificación desequilibrada.
- Procesos centralizados.
- Desequilibrios de capacidad o de la carga de trabajo.
- Tiempos de preparación de larga duración.
- Problemas en los procesos “aguas arriba” (calidad, “cuellos de botella”).
- Producción por lotes grandes.
- Mantenimientos no planificados.
- Mala utilización de la automatización.

El Transporte.

El modelo *Lean* considera que trasladar materiales por distancias mayores a lo estrictamente necesario (normalmente por error de *Layout*)



o por crecimiento no planificado de la empresa, es un desperdicio (Krajewski, et al., 2013, p. 277). También la ubicación o sitios de guardado de las herramientas, los materiales, la documentación pertinente al producto, las ordenes de producción, las muestras o prototipos, guías de fabricación o ensamble, planos o especificaciones que no están disponibles al momento de su utilización.

Reprocesos o sobreprocesamiento

La metodología define que realizar más operaciones de las necesarias en el producto (normalmente por error del proyecto del equipo o proceso) representa un desperdicio, realizar esfuerzos que no agregan valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente (interno o externo). Estas actividades causan desfase en la planificación y programación de la organización, generando incrementos en los tiempos de la programación.

Movimientos innecesarios o excesivos

La realización de cualquier movimiento más allá de lo necesario para realizar una operación que agregue valor, como por ejemplo esfuerzos excesivos (estirándose, agachándose, curvándose, volteándose, empinándose) se consideran desperdicios, se incluye la búsqueda de herramientas, piezas, documentos y materias primas. Algunas causas de movimientos innecesarios o excesivos son:

- Operaciones aisladas y deficiente distribución (*Layout*).
- Métodos de trabajo inconsistentes.
- Inestabilidad en las operaciones.



- Falta de entrenamiento y habilidades sin desarrollar.
- Baja efectividad de operarios o máquinas.
- Baja moral de los trabajadores.

Los defectos

La repetición del trabajo debido a un defecto es una de las causas más grandes de desperdicio, el producir materiales defectuosos genera actividades adicionales en el proceso como, la inspección, el retrabajo, los rechazos y la pérdida de productividad (Krajewski et al., 2013, p. 277). La metodología incorpora herramientas o técnicas, como el análisis de causa – raíz para asegurar acciones apropiadas en la búsqueda de la eliminación desde la fuente de los defectos presentados.

El exceso de inventario o material inmovilizado

Los altos inventarios de materias primas, productos en proceso y productos terminados son unas las causas que mayores desperdicios originan en la organización. Su efecto va directamente al flujo de caja de la organización, al incremento de los costos en el concepto seguros, al aumento de las áreas de almacenamiento, además que impactan y ocultan las ineficiencias de los procesos y el balance del sistema operativo.

Pasos para la implementación de la metodología

El *Lean Manufacturing* se materializa en la práctica a través de una amplia variedad de técnicas, muy diferentes entre sí, pueden implantarse de forma independiente o conjunta, atendiendo a las características



específicas de cada caso. Su aplicación debe ser objeto de un diagnóstico previo que establezca la hoja de ruta idónea. Las técnicas están agrupadas en tres grupos distintos, de modo tal que se pueda obtener una visión simplificada, ordenada y coherente de las mismas.

En un primer grupo están aquellas cuyas características, claridad y posibilidad real de implantación las hacen aplicables a cualquier circunstancia de empresa/producto/sector. Su enfoque práctico y, en muchas ocasiones, el sentido común, permite sugerir que deberían ser de “obligado cumplimiento”. En este primer grupo se encuentran las siguientes herramientas: las técnicas de calidad, las herramientas básicas (7) de calidad, los equipos de mejoramiento con sistemas de participación del personal, Las 5S, El sistema SMED, las lecciones de un punto, técnicas de control visual y el mapa de flujo de valor.

En un segundo grupo están aquellas técnicas que, aunque son aplicables a cualquier situación, exigen un mayor compromiso y cambio cultural de todas las personas, tanto directivos, mandos intermedios y operarios. En este segundo grupo se encuentran las siguientes herramientas: *Poka Yoke*, *Jidoka*, el Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), los sistemas de diseño, planeación y programación de los equipos (Tejeda, 2011, p. 286).

En un tercer grupo se encuentran las técnicas más específicas que cambian la forma de planificar, programar y controlar los medios de producción y la cadena logística. En este tercer grupo se encuentran las siguientes herramientas: Justo a tiempo (JIT), *Heijunka*, *Kanban* y Plan Sugerencias. Más allá del poder de estas técnicas, las acciones para



su implementación deben centrarse en el compromiso de la empresa para invertir en su personal y promover la cultura de la mejora continua (Tejeda, 2011, p. 287).

El pensamiento *Lean* implica una transformación cultural profunda, de manera que se empieza con un planteamiento modesto basado en pocas técnicas, incluso solo una, para generar un mini-éxito, es la manera correcta de afrontar inicialmente el conocimiento e implantación de las otras técnicas *Lean*. De cualquier forma, todo plan de acción debe plantearse a largo plazo, persiguiendo un cambio cultural que pase a formar parte del saber hacer de la empresa. Conseguir esta nueva cultura se basa en ideas como la eliminación sistemática de los desperdicios, la estandarización de los procesos, la capacitación de las personas y el mejoramiento continuo. Para conseguir una organización *Lean* se deben desarrollar las capacidades de las personas e involucrarlas en el pensamiento *Lean*. Los pasos para seguir la implementación son:

- 1. Definir el valor de cada producto.** Se define cómo identificar las actividades que durante el proceso transforman las materias primas, aunque no todas ellas aporten valor. Es decir, todo el tiempo que se está trabajando con el producto se añade a su costo, pero no necesariamente a su valor (se materializa mediante, asignación de un responsable del proyecto, capacitación del recurso humano, conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios).
- 2. Identificar el flujo de valor del proceso.** Una vez definido el valor de cada producto se debe analizar el flujo de valor del proceso, es decir, entender cuándo, cómo y por qué se genera el valor



(Tejeda, 2011, p. 288), realizar una clasificación de las métricas direccionada a los aspectos visibles y basados en los resultados de rendimiento, objetivos de mejora y, establecimiento de sistemas de recompensas y reconocimiento al personal, todo esto, apoyados en indicadores como: tiempo de entrega, productividad, tiempo del proceso, espacio utilizado. El flujo de valor se define para un producto específico (o familia de productos) y comprende todas las actividades de planificación y producción por las que pasa dicho producto desde la recepción de las materias primas hasta llegar al cliente (se materializa con la elaboración del mapa de flujo de valor VSM).

- 3. Eliminar el desperdicio identificado.** Una vez identificados los pasos y flujos de creación del valor, se busca la forma de retirar del proceso de fabricación los pasos o actividades que no agregan valor (Análisis de resultados).
- 4. Impulsar el flujo de valor enfocado en el cliente sin interrupciones.** Eliminados los pasos que causan el desperdicio es más fácil lograr que las actividades de trabajo ocurran de forma continuada sin interrupciones. Para lograr el objetivo de conseguir un flujo continuo de trabajo se deben abandonar algunos enfoques tradicionales de trabajo en grandes lotes y enfocarse en trabajar de forma más flexible para ser capaces de diseñar y producir lo que el cliente desea en un preciso momento (Despliegue de herramientas *Lean*).
- 5. Equilibrar el trabajo mediante mejora continua.** Para seguir avanzando se debe distribuir el trabajo de manera homogénea



y equilibrar las distintas fases del proceso, sin olvidar que se debe prevenir la aparición de nuevos despilfarros implementando procesos *Lean* que se adapten a las necesidades del cliente y con cero defectos (Estableciendo plan de mejoras).

Herramientas y metodologías de la implementación

En este numeral se presentan en detalle las actividades a realizar para la implementación, al igual que las herramientas utilizadas en el primer grupo, las definiciones de cada una y unos ejemplos para su mejor entendimiento.

Definir el valor de cada producto

En este paso se tiene considerado que la implementación de la metodología se facilita si en la empresa se toman algunas de las alternativas que se indican, como la conformación de un equipo de mejora, la capacitación del recurso humano en el conocimiento de la metodología y la disponibilidad de laborar en diferentes áreas de la empresa y, finalmente, designar a una persona como responsable de la implementación.

El responsable asignado debe tener conocimiento de todo el proceso, tanto administrativo como el operativo, debe ser capaz de sincronizar los esfuerzos de cada grupo o área de la organización con el fin de conseguir el objetivo global. También debe tener el poder para hacer los cambios que se necesiten, en la medida que va identificando las situaciones en su visita diaria a la planta, aunque pueda afectar a varios departamentos.



Identificar el flujo de valor. Herramientas, métricas, fórmulas

En este punto se presentan las herramientas o técnicas más utilizadas en el primer grupo definido para la etapa de implementación y otras del segundo grupo bastante utilizadas. Las herramientas son:

El diagrama de Pareto (80/20): el diagrama de Pareto es un método empleado para organizar errores, problemas o defectos, con el propósito de ayudar a enfocar los esfuerzos y así encontrar la solución de problemas. Se basa en que el 80 % de los problemas de una empresa son el resultado de solo un 20 % de causas (Render y Heizer, 2007). El diagrama de Pareto se caracteriza por ser un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de mayor a menor. La metodología se emplea en procesos de manufactura, en procesos logísticos y en procesos de servicio, su uso permite identificar los defectos que se producen con mayor frecuencia, las causas más comunes de los defectos o las causas más frecuentes de quejas de los clientes.

La herramienta maneja como principio la “regla 80/20” lo cual significa que el 20 % de los clientes pueden generar el 80 % de los reclamos. En la representación gráfica de los datos, en un plano cartesiano, generalmente el eje Y de la izquierda es la frecuencia de ocurrencias, mientras que el eje Y de la derecha es el porcentaje acumulado del número total de ocurrencias. El eje X muestra las categorías de los defectos, quejas y desperdicios. Las ventajas y utilidades del diagrama se resumen en la Tabla 2.3.



Tabla 2.3
Ventajas y utilidades del diagrama de Pareto.

Ventajas del diagrama	Utilidades del diagrama
Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras causas menos significativas.	Determina fácilmente cuál es la causa clave de un problema.
Su visión grafica del análisis, lo hace más fácil de comprender, estimulando al equipo para continuar con las mejoras.	Se puede utilizar para investigar efectos o analizar causas.
Proporciona una visión sencilla y grafica de la importancia relativa de los problemas.	Permite comunicar fácilmente a otros miembros las conclusiones.
Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrán más impacto, optimizando por lo tanto los esfuerzos.	Facilita interpretar cual será el objetivo de las acciones.

Fuente: adaptado de Alexander, Antony y Rodgers, 2019. Pasos para elaborar el diagrama de Pareto

1. Seleccionar los datos: determinar el periodo de tiempo al que se refieren los datos.
2. Agrupar los datos: se agrupan según categorías, de acuerdo con el criterio seleccionado.
3. Tabular los datos: comenzando por la categoría que contenga más elementos y siguiendo en orden descendente, calcular las frecuencias.



Hojas de recolección de datos: las hojas de recolección o registro de datos son documentos impresos con formas estructuradas que facilitan la recopilación de información, son previamente diseñadas con base en las necesidades y características de los datos que se requieren para medir y evaluar uno o varios procesos.

- Una hoja de registro es un formato preimpreso en el cual aparecen los ítems que se van a registrar, de tal manera que los datos puedan recogerse fácil y concisamente (Kume, 1992).
- Los objetivos principales de las hojas de recolección son:
 - Facilitar la recolección de datos.
 - Organizar automáticamente los datos de manera que puedan usarse con facilidad más adelante.
 - Son el punto de partida para la elaboración de otras herramientas, como por ejemplo los Gráficos de Control, los Histogramas y las gráficas de Pareto.
 - Los datos recolectados se organizan, estratifican y compilan para facilitar los análisis.
 - Facilitar el inicio del pensamiento estadístico.
 - Ayudar a traducir las opiniones en hechos y datos.

Los controles visuales: son un conjunto de técnicas de control y comunicación visual que tienen por objetivo facilitar a todos los empleados el conocimiento del estado del sistema y avance de las acciones de mejora (Alves y Alves, 2015).

La lección de un punto (LUP): también conocida como OPL por las siglas de los términos *One Point Lesson*, es una herramienta

de comunicación utilizada para la transferencia de conocimientos y habilidades simples o breves (Liker, 2006), se fundamenta en el aprovechamiento del capital intelectual de la organización, disminuyendo los tiempos y los costos de formación mediante la elevación del conocimiento y las habilidades de los colaboradores en cortos periodos de tiempo. Las LUP son poco complejas, pero deben ser revisadas y aprobadas.

Los sistemas de participación del personal (SPP) o los equipos de mejoramiento: consiste en un pequeño número de personas con Habilidades Complementarias que, con carácter temporal, están voluntariamente y durante largos períodos de tiempo, trabajando conjuntamente durante unas horas semanales para mejorar y perfeccionar sus procesos de trabajo. Los equipos utilizan métodos estructurados y parámetros de desempeño para su funcionamiento. Habitualmente sus actividades incluyen detectar problemas, analizarlos y proponer soluciones que se llevan a la práctica.

El sistema justo a tiempo (JIT): es un método de resolución Continua y Forzada de problemas, mediante un enfoque en la reducción del desperdicio y la eliminación de las actividades que no agregan valor al gestionar la disminución del tiempo de producción y el exceso de capacidad o de inventario. El justo a tiempo se relaciona con la calidad en tres formas (Render y Heizer, 2007):

- **JIT reduce el costo de la calidad:** esto ocurre porque el desperdicio, el trabajo repetido, la inversión en inventario y los costos por daños se relacionan de manera directa con el inventario que se tiene a mano. Como se tiene menos inventario con JIT,



los costos son menores. Además, el inventario oculta la mala calidad, mientras que el JIT la expone de inmediato.

- **JIT mejora la calidad:** en la medida que el JIT acorta el tiempo de entrega, mantiene fresca la evidencia del error y limita el número de fuentes potenciales de error. En efecto, el JIT crea un sistema de advertencia temprana de los problemas de calidad, tanto al interior de la empresa como con los vendedores.
- **Mejor calidad significa menos inventario y un mejor sistema JIT fácil de usar:** a menudo, el propósito de mantener un inventario es protegerse del mal desempeño de producción como resultado de una calidad poco confiable. Si existe una calidad constante, el JIT permite que las empresas reduzcan todos los costos asociados con el inventario.

Las 5 S: técnica utilizada para la mejora de las condiciones de trabajo de la empresa a través de una excelente organización, orden y limpieza en el puesto de trabajo.

Estandarización: técnica que persigue la elaboración de instrucciones escritas o gráficas que muestren el mejor método para hacer las cosas.

El sistema SMED: son Sistemas empleados para la disminución de los tiempos de preparación o puesta a punto de máquinas (Cabrera, 2012, pp. 141-159). Con esta herramienta se busca minimizar el tiempo invertido para cambiar de un producto a otro. Se han clasificado dos tipos de SMED, el interno y el externo.

El sistema *Jidoka*: es una técnica basada en la incorporación de sistemas y dispositivos que otorgan a las máquinas la capacidad

de detectar en qué momento se están produciendo errores. En esencia es un sistema de calidad que pretende asegurar que todas las unidades producidas cumplan las especificaciones dadas, porque en un sistema sin despilfarros, no se puede permitir el lujo de tener piezas defectuosas, ya que no está prevista la producción de piezas adicionales (Rajadell y Sánchez, 2010).

Sistema Heijunka: es un conjunto de técnicas que sirven para planificar y nivelar el recurso humano frente a la demanda fluctuante del cliente durante un periodo de tiempo determinado. (Cabrera, 2012, pp. 143 – 164), se conoce como producción nivelada. Los objetivos que persiguen las técnicas *Heijunka* son las siguientes (Rajadell y Sánchez, 2010):

- Mejorar la respuesta frente al cliente. Con una producción nivelada, el cliente recibe el producto a medida que lo demanda, a diferencia de tener que esperar a que se fabrique un lote.
- Estabilizar la plantilla de la empresa al conseguir una producción nivelada.
- Reducir el inventario de materia prima y materia prima auxiliar, porque con la producción nivelada se produce en pequeños lotes y se facilitan los envíos frecuentes por parte de los proveedores.
- Reducir el inventario de producto acabado, porque con la producción nivelada existe tiempo de espera menor entre la producción y la demanda de un producto.
- Incrementar la flexibilidad de la planta. Una producción nivelada se adapta mejor a pequeñas variaciones que pueda experimentar la demanda.



Sistema *Kanban*: es un método de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas o algún tipo de señal que pueden ser de tipo luminoso o señales de colores. (Japan Management Association, 1986). El *Kanban* se conoce como el sistema que tira la producción, basado en la garantía de alta calidad y la producción de las partes precisas en las cantidades necesarias en tiempos cortos y fiables en cada proceso. Para que esto sea una realidad se aplica una idea sencilla: un sistema de tirar la producción (*Pull*) mediante un flujo sincronizado, continuo y en lotes pequeños (Rajadell y Sánchez, 2010).

El mapa de flujo de valor (VSM): un mapa de valor es una representación gráfica de elementos de producción e información que permiten conocer y documentar el estado actual y futuro de un proceso (Krajewski, et al., 2013, p. 287). Es la base para el análisis del valor que se aporta al producto o servicio y es la fuente del conocimiento de las restricciones reales de una empresa, ya que permite visualizar las actividades QUE NO agregan valor al proceso (el desperdicio). Del mismo modo permiten conocer el tiempo asociado a dichas actividades, por consiguiente, también podemos identificar las actividades que agregan valor al proceso.

Según Madariaga (2013), la definición de los parámetros y forma de calcular los datos que se requieren para la elaboración del VSM actual son los siguientes (pp. 227-245):

- Familia de producto: se debe identificar el criterio de agrupación más apropiado considerando aquella familia con mayores impactos en el negocio, igualmente usando la información

referente a los requerimientos del cliente y su frecuencia (Krajewski, et al., 2013, p. 287).

- Tiempo de ciclo (TC): es el tiempo que tarda una unidad o parte de ella en salir de un proceso u operación, indica con qué frecuencia es producida una pieza.
- Tiempo de alistamiento a cambio (TM): es el tiempo que se tarda en cambiar de un tipo de producto a otro.
- Tiempo de ocupación u operación (TO): es el porcentaje de tiempo en que la maquina está ocupada en demanda, es decir el tiempo de ocupación real versus el tiempo potencial programado.
- Tiempo de trabajo disponible: es el tiempo disponible por turno en ese proceso en segundos. Este tiempo es el tiempo total menos descansos, tiempos de reunión, tiempos de capacitación, tiempos de limpieza y tiempos de mantenimiento programado.
- Días de inventario: El número de días de inventario para cada proceso o centro de trabajo es el resultado de dividir el nivel de inventario por el consumo o requerimiento diario de los clientes.

Pasos para elaborar el VSM

Identificar las familias de productos, usando la matriz producto-proceso.

- Establecer la simbología por usar y la nomenclatura.
- Identificar la secuencia del proceso para cada familia.
- Identificar el flujo de material de cada familia.
- Identificar el flujo de la información.





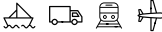






(a) Identificar la estrategia de cómo se produce *Push* o *Pull*.

Información para registrar en el VSM

- Conocer la demanda del cliente, los medios por los cuales solicita, la frecuencia y cantidad de los pedidos.
- Conocer los pronósticos utilizados para predecir la demanda y las necesidades de abastecimiento, los medios por los cuales se pide, la frecuencia y la cantidad de pedidos que se hacen hacia los proveedores.
- Elaborar el diagrama de flujo de los procesos con secuencias.
- Identificar los tiempos de ciclo de cada operación.
- Identificar la capacidad de cada proceso.
- Identificar la capacidad disponible en cada proceso.
- Identificar los tiempos de alistamiento en cada operación.
- Identificar el inventario en cada proceso.
- Identificar la capacidad total.
- Identificar los cuellos de botella, las restricciones de tamaños, diámetros calibres.
- Los símbolos usados para construir el VSM se presentan en las Tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7.




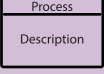
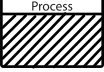
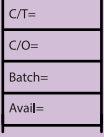
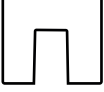
Tabla 2.4
Símbolos VSM de uso general.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Estallido Kaizen (<i>Kaizen Lightning Burst</i>): se denomina “estallido” porque la idea es que usted reaccione cuando observe un problema, e inmediatamente, lo marque o resalte con este símbolo como posible mejora (Kaizen).
	Operario (<i>Operator</i>): para indicar el número de operarios que ejecutan una actividad.
	Otra información (<i>Other information</i>): caja de texto con marco para incorporar información adicional según sus necesidades.
	Línea de tiempo (<i>Timeline</i>): se ubica en la parte inferior del VSM para mostrar los tiempos de espera (no agregan valor) y los tiempos de procesamiento (agregan valor).
	Buque, Camión, Tren, Avión (<i>Boat, Truck, Rail, Air Shipment</i>): representan modalidades de transporte externo y deberían incorporar también, la frecuencia de los envíos (o despachos).
	Montacargas (<i>Move by Forklift</i>): representa un movimiento o transporte interno mediante montacargas.
	Almacén (<i>Warehouse</i>): representa un almacén interno o externo (Centro de Distribución).
	Tránsito directo (<i>Cross-Dock</i>): representa una plataforma <i>Cross-Docking</i> , en donde el tránsito de materiales cambia de vehículo coordinadamente.
	Órdenes (<i>Orders</i>): representa órdenes de compra.
	Centro de Control (<i>Control Center</i>): cuando se utiliza Kanban, este símbolo representa el centro de control de este.
	Problema de Calidad (<i>Quality Problem</i>): cuando en cualquier punto del proceso se ha identificado un problema de calidad.
	Nube (<i>Cloud</i>): representa las soluciones o mejoras o para destacar las sugerencias o ideas propuestas.

Fuente: adaptada del software especializado en VSM Lucidchart.





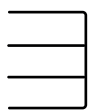

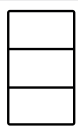


Tabla 2.5
Símbolos VSM para procesos.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	<p>Cliente/Proveedor (<i>Customers/Supplier</i>): si se ubica en la parte superior del diagrama a su izquierda, representará proveedores, y a la derecha, clientes.</p>
	<p>Proceso dedicado (<i>Dedicated Process</i>): representa un departamento, actividad u operación del proceso. En su interior se incorpora el símbolo de operario y su cantidad y otra información relacionada.</p>
	<p>Proceso compartido (<i>Shared Process</i>): representa un departamento, actividad u operación del proceso que es compartido por otros mapas de flujo de valor.</p>
	<p>Caja de datos (<i>Data Box</i>): se ubican debajo de otros símbolos para incorporar información relacionada, por ejemplo, debajo del cliente, proveedor, de las operaciones, etc.</p>
	<p>Celda de trabajo (<i>Workcell</i>): representa a una Celda de Manufactura o conjunto de procesos integrados.</p>





Fuente: adaptada del software especializado en VSM Lucidchart.

Tabla 2.6
 Símbolos VSM para materiales.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Inventario (<i>Inventory Box</i>): representa el inventario acumulado entre dos procesos o el inventario almacenado. Se incluye en su parte inferior, la cantidad.
	Despachos (<i>Shipments</i>): representa los envíos de materiales de proveedores a la fábrica, o de productos terminados hacia los clientes.
	Flecha de empuje (<i>Push Arrow</i>): indica que el material que se traslada desde una actividad a la siguiente, es empujado (<i>Sistema Push</i>).
	Retirada de materiales (<i>Material Pull</i>): contrario al anterior, indica que el material solo se trasladará desde una actividad a la siguiente, si se solicita (<i>Sistema Pull</i>), lo que significa no habrá acumulamiento de inventario entre los procesos.
	Supermercado (<i>Supermarket</i>): representa un punto de Stock Kanban donde las actividades posteriores obtienen el inventario requerido mientras que las actividades anteriores realizan la reposición. Podría considerarse un <i>Buffer de Almacenamiento</i> .
	Carril FIFO (<i>FIFO Sequence</i>): indica un sistema <i>Primero en Entrar, Primero en Salir</i> , a manera de cola de espera. Se debe indicar la capacidad máxima de inventario (o de cola).
	Inventario de Seguridad (<i>Safety Stock</i>): indica un <i>stock de seguridad</i> para evitar posibles problemas que afecten el aprovisionamiento.

Fuente: adaptada del software especializado en VSM Lucidchart.

Tabla 2.7
Símbolos VSM para información.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Información manual (<i>Manual Information</i>): indica que la información que fluye es manual (memos, informes, formatos). Debe indicarse la frecuencia en que se entrega la información.
	Información electrónica (<i>Electronic Information</i>): indica que la información que fluye se transmite de manera digital, como <i>Internet, Intranet, EDI</i> . Debe indicarse la frecuencia y cualquier otra información relevante.
	Kanban de Producción (<i>Production Kanban</i>): indica la producción necesaria (lote) para proveer de materiales a una etapa u operación posterior.
	Kanban de Retirada (<i>Withdrawal Kanban</i>): indica la cantidad de inventario requerido por una actividad u operación, desde un <i>Supermercado</i> hacia la operación.
	Kanban de Señalización (<i>Signal Kanban</i>): indica la producción necesaria cuando el inventario del <i>Supermercado</i> cae al mínimo.
	Ubicación del Kanban (<i>Kanban Post</i>): indica la ubicación para recolectar los <i>Kanban</i> , cerca del <i>Supermercado</i> . En un sistema de dos tarjetas, se usa para el intercambio entre las tarjetas de <i>producción</i> y <i>retirada</i> .
	Retirada Secuencial (<i>Sequenced Pull Ball</i>): provee instrucciones para la producción inmediata de subensambles.
	Nivelación de Carga (<i>Load Leveling</i>): agrupa <i>Kanban</i> con el fin de nivelar la variedad y el volumen de la producción.
	MRP/ERP (<i>MRP/ERP</i>): indica el uso de un sistema de <i>Planeación de Requerimientos de Materiales – MRP</i> o de <i>Planeación de Recursos Empresariales – ERP</i> .
	Observación (<i>Go See Production Scheduling</i>): cuando se recolecta información mediante la observación directa del proceso para tomar una decisión.
	Información Verbal (<i>Verbal Information</i>): cuando el flujo de información se transmite verbalmente.

Fuente: adaptada del software especializado en VSM Lucidchart.

Referencias

- Alexander, P., Antony, J. y Rodgers, B. (2019). Lean Six Sigma for small – and medium-sized manufacturing enterprises: a systematic review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(3), 378-397. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2018-0074>
- Alves, J. R. X. y Alves, J. M. (2015). Production Management Model Integrating the Principles of Lean Manufacturing and Sustainability Supported by the Cultural Transformation of a Company. *International Journal of Production Research*, 51(11), 1–14
- Asturias Corporación Universitaria, s.f., Definición y principios del Lean Management, https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/dgp_gestion_calidad/clase6_pdf1.pdf
- Antony, J., y Kumar, M. (2011). *Lean Six Sigma: Research and practice*. bookboon.com.
- Cabrera, R. (2012). *Manual de Lean Manufacturing*. Editorial Académica Española
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). *Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos
- Drohomeretski, E., Gouvea da Costa, S. E., Pinheiro de Lima, E. y Garbuio, P. A. da R. (2014). Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy. *International Journal of Production Research*, 52(3), 804-824. <https://doi.org/10.1080/00207.543.2013.842015>
- Escalante Vázquez, E. J. (2010). *Seis-Sigma. Metodología y Técnicas*. Limusa.

- Felizzola Jiménez, H. y Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718.330.5201400.020.0012>
- Garza Ríos, R. C., González Sánchez, C. N., Rodríguez González, E. L., y Hernández Asco, C. M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 19-35.
- Guerrero, J. (2016). Lean es Lean: Principios y herramientas del Lean Manufacturing simples, claros y prácticos. [Leanroots.com](http://leanroots.com)
- Gutiérrez Pulido, H. y Vara Salazar, R. de la. (2004). Control estadístico de calidad y Seis Sigma. Mc Graw Hill.
- Hamid Tohidi, K. K. (2012). Six Sigma Methodology and its Relationship with Lean Manufacturing System. 2012, 6(2), 895-906.
- Hernández, J. C., y Vizán, A. (2013). Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. https://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:80094/EOI_LeanManufacturing_2013.pdf
- Jacobs, R. y Chase, R. (2013). Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros (13a ed.). http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=5647
- Japan Management Association. (1986). Kanban Just-in Time at Toyota: Management Begins at the Workplace. Productivity Press
- Kume, H. (1992). Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad. Norma

- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., Malhotra, M. K. y González Osuna, M. (2013). Administración de operaciones: procesos y cadena de suministro (10a ed.). http://www.biblioeco.unsa.edu.ar/pmb/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=24290
- Madariaga, F. (2013). Lean manufacturing. Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos. Bubok Publishing S.L.
- Mohd Salleh, N. A., Kasolang, S. y Jaffar, A. (2011). Lean TQM Automotive Factory Model System. World Academy of Science, Engineering and Technology, (55), 627-633.
- Liker, J. (2006). Las claves del éxito de Toyota. <http://docshare01.docshare.tips/files/23779/237799799.pdf>
- Lucidchart Software. (2019). <https://www.lucidchart.com/>
- Pande, P. y Holpp, L. (2002). ¿Qué es Seis Sigma? <https://www.casadellibro.com/libro-que-es-seis-sigma/978.844.8136307/831137>
- Pérez, J. (2011). El avión de la muda: herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta Airplane of the muda : support tool for the teaching-learning experience of lean manufacturing. Revista Facultad Ingeniería, 58(58), 173-182.
- Rajadell, M. y Sánchez, J. L. (2010). Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad. <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/df/978.847.9789671.pdf>
- Render, B. y Heizer, J. (2007). Administración de la producción. Pearson Prentice Hall
- Salazar, R. D. y Gutiérrez Pulido, H. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma. McGrawHill

- Sarria Yopez, M. P., Fonseca Villamarin, G. A., y Bocanegra, C. (2017). Modelo metodológico de implementación de Lean Manufacturing. Escuela de Administración de Negocios EAN, (83), 51-71.
- Sreedharan V, R., y Sunder M, V. (2018). A novel approach to Lean six sigma project management: a conceptual framework and empirical application. *Production Planning & Control*, 29(11), 895-907. <https://doi.org/10.1080/09537.287.2018.1492042>
- Tejeda Sophie, A. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*, XXXVI(2), 276-310. <https://www.redalyc.org/pdf/870/870.197.57005.pdf>
- Taiichi Ohno: *Toyota Production System*, 1988. CRC Press.
- Todorut, A. V., Rabontu, C. I., y Cîrnu, D. (2010). Lean Management – The way to a performant enterprise. *Annals of the University of Petrosani, Economics*, 10(3), 333-340

