

# Impacto y beneficios en la industria de autopartes: una revisión desde la Metodología SIX SIGMA

Impact and benefits in the auto parts industry: a review from the SIX SIGMA Methodology

Edward Lenin Alvarez Galeano<sup>1</sup>  
edward.alvarez00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Maestría en Ingeniería Industrial (1)

## **Resumen**

El presente artículo busca describir los principales beneficios de la aplicación e implementación de la metodología Six-Sigma (SS), haciendo un recorrido, a través de la revisión documental de casos de estudio, por aspectos de orden teórico donde se analizan algunos conceptos como: ciclo DMAIC, Mejora Continua, Herramientas de Calidad, entre otros. También se identifican los principales impactos en la industria de autopartes en materia económica y aprovechamiento de recursos. La industria de autopartes ha tenido una evolución constante debido a las nuevas exigencias de los mercados. Por tal motivo la investigación, el conocimiento y la adopción de nuevas técnicas, son necesarias para la mejora de los procesos con el fin de alcanzar los objetivos propuestos por medio de análisis y ejecución de proyectos. En esta revisión se pretende entender la importancia de la metodología SS, para poder desarrollar estrategias que sean contundentes y que generen resultados positivos en productivos industriales y adopción de cambios en las competencias laborales. Se seleccionaron casos de proyectos de diferentes regiones del mundo, extraídos de la literatura profesional, para analizar aspectos propios del despliegue de la metodología DMAIC y los logros alcanzados en el campo del control de la variabilidad de los procesos. Algunos de los aportes más importantes en la adopción de la metodología SS en los casos estudiados fueron: la reducción de unidades defectuosas, mejoras en los indicadores de desempeño, estabilización de los procesos, ahorros representados en unidades monetarias y que los tiempos de ejecución de cada proyecto no fueron mayores a 12 meses.

*Palabras Clave:* Clave: Six Sigma, Autopartes, Mejora continua, DMAIC

## **Abstract**

This article aims to describe the main benefits of the application and implementation of the Six-Sigma (SS) methodology, through a documentary review of case studies and theoretical aspects where some concepts such as: DMAIC cycle, Continuous Improvement, Quality Tools, among others, are analyzed. It also identifies the main impacts on the auto parts industry in terms of economy and use of resources. The auto parts industry has undergone a constant evolution due to new market demands. For this reason, research, knowledge and the adoption of new techniques are necessary for the improvement of processes in order to achieve the proposed objectives through analysis and execution of projects. This review aims to understand the importance of the SS methodology, in order to develop strategies that are forceful and generate positive results in industrial production and adoption of changes in labor competencies. Cases of projects from different parts of the world, taken from the specialized literature, were chosen to analyze aspects of the deployment of the DMAIC methodology and the achievements reached in the control of process variability. Some of the most important contributions in the adoption of the SS methodology in the cases studied were: the reduction of defective units, improvements in performance indicators, stabilization of processes, savings represented in monetary units and that the execution times of each project did not exceed 12 months.

*Keywords:* Six Sigma, Auto Parts, Continuous improvement, DMAIC

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la globalización y al crecimiento rápido de la economía en el último siglo, considerando lo expuesto por Krishna Priya, Jayakumar, & Suresh Kumar (2019) las necesidades y la demanda de los bienes y servicios, varían de manera incremental, por lo tanto, las exigencias en productos y servicios de alta calidad no se dejan esperar. Las industrias enfrentan grandes desafíos para mejorar las condiciones de producción para aumentar la eficiencia del proceso y reducir el costo de los productos y servicios fabricados. Asimismo, las expectativas son cada vez más altas y complejas debido a las condiciones ambientales cambiantes. Como resultado, la industria enfrenta una audiencia muy exigente que siempre evalúa términos de calidad, costo, beneficios, ahorro de tiempo y más.

La industria automotriz o (de autopartes)<sup>1</sup>, es un sector en crecimiento, altamente exigente y altamente competitivo a nivel mundial debido a la alta demanda de varias organizaciones, así mismo, el mercado debe preocuparse por la flexibilidad, la adaptación al cambio y la mejora continua, por lo que se debe enfatizar que cualquier ventaja que se obtenga sobre la competencia será una ganancia que valdrá la pena en beneficio de la empresa (Costa, Silva, & Pinto Ferreira, 2017). También es importante señalar la relación entre los empleados y la tecnología, especialmente cuando se introducen nuevos procesos que implican adaptarse a los cambios; en esta etapa, la participación directa de los empleados es fundamental para optimizar los procesos que integran los humanos y las máquinas (Gleeson, Coughlan, Goodman, Newell, & Hargaden, 2019). Por ello, uno de los retos a los que se enfrenta la industria es la mejora de procesos y la toma de decisiones; tienen un impacto directo en la resistencia al cambio (Krishna et al., 2019).

Las industrias en la búsqueda constante de una fabricación ajustada y sin exceso variaciones, prueban y adoptan técnicas y metodologías que ayuden reducir actividades y procesos innecesarios que afectan directamente los costos del producto; y luego dedicar sus esfuerzos para mejorarlos (Krishna et al., 2019). Sin embargo, para mantener las buenas prácticas de manufactura, se requiere de la medición y seguimiento de los procesos y actividades que se pueden implementar por medio de la adopción de la metodología SIX SIGMA (SS), la cual integra herramientas estadísticas. Ahora bien, se requiere saber cuál es el impacto de esta metodología, mediante la aplicación de diferentes herramientas que permitan identificar mejoras en los procesos productivos, especialmente en el sector de autopartes.

En particular, la metodología Six Sigma integra de manera apropiada el desarrollo DMAIC, utilizado como herramienta para la resolución de problemas, la minimización de defectos y la mejora de procesos mediante la identificación de causas objetivas y/o fuentes de actividades en el desarrollo de proyectos (Mayur Mahajan, Kezia Bindu, Harshan, & Shiva Prasad, 2019). Por otro lado, abordaremos algunos de los factores clave de éxito, y la integración de técnicas y metodologías Six Sigma - DMAIC ha dado como resultado la optimización de procesos a través de la adopción y uso de herramientas de mejora de la calidad de los procesos. (Lomte, Bhosle, Ambad, & Gaikwak, 2018).

Según lo expuesto, se pretende identificar ¿Como enfrentan algunas industrias de autopartes, las variaciones en los procesos productivos y cuáles son los efectos que tiene la ejecución de proyectos que adoptan la metodología Six Sigma?

En consecuencia, el objetivo del presente trabajo está enfocado en el análisis de diferentes artículos científicos, consultados en bases de datos especializadas, con el fin de revisar los impactos y beneficios de la adopción e implementación de la metodología SIX SIGMA en el sector industrial de autopartes, en sus procesos de producción. De igual modo, se abordarán los resultados obtenidos, las experiencias de implementación y aplicación de la metodología y su incidencia en la mejora continua en esta industria. Para presentar los resultados del estudio de la revisión, en el presente artículo se plantean las siguientes secciones: antecedentes, metodología, estado del arte que se desarrollara identificando las bondades de la metodología Six Sigma, resultados y conclusiones acerca de la revisión de los artículos.

---

<sup>1</sup> Autopartes: comprende la actividad de ensamble de vehículos automotores, y la fabricación de partes y piezas de vehículos utilizadas en el ensamble y como repuestos (MINEDUCACION, 2022)

## 1.1. Justificación

La propuesta del presente estudio pretende examinar los resultados de los casos de estudio mediante la aplicación de la Metodología Six Sigma (MSS) y su evolución en las compañías de autopartes. Igualmente busca identificar las bondades de la Metodología Six Sigma usada principalmente como estrategia para activar las mejoras y lograr niveles de desempeño favorables en beneficio de partes interesadas como: productores y clientes (internos y externos), por medio de la caracterización crítica en los procesos, eliminación de las causas de errores y cero defectos. Actualmente, la metodología Six Sigma tiene como objetivo reducir la tasa de fallas a unas pocas partes por millón para los productos y procesos clave de la organización, sin embargo, los beneficios de esta poderosa herramienta requieren una implementación efectiva de principios estadísticos y diversas herramientas para diagnosticar los problemas de calidad que permitan facilitar la implementación de mejoras.

Según la ANDI, el sector de autopartes es reconocido a nivel mundial como sector “punta de lanza” del desarrollo económico y social, por sus múltiples efectos de arrastre sobre una amplia gama de campos de la actividad industrial. Sus altos aportes a la innovación y la transferencia de tecnología lo constituyen en uno de los sectores líderes y una de las locomotoras para el desarrollo de la región. En Colombia operan de manera activa las siguientes ensambladoras de vehículos: (ANDI, 2022)

- ✓ General Motors Colmotores (marcas Isuzu, Volvo y Chevrolet)
- ✓ Sociedad de Fabricación de Automotores - SOFASA (marca Renault)
- ✓ Hino Motors Manufacturing S.A. (marca Hino – grupo Toyota) (ANDI, 2022)

En Colombia se producen diversos tipos de autopartes, entre las que se encuentran: sistemas de suspensión, sistemas de dirección, sistemas de escape, sistemas de transmisión, sistemas de refrigeración, material de fricción, partes eléctricas como baterías y cableados, productos químicos, rines, llantas, filtros para aire, lubricantes y combustibles, tapicerías en tela y cuero, trim interior, vidrios templados, laminados y para blindaje, bastidores de chasis, aires acondicionados, partes de caucho y metal y accesorios, entre otros. (ANDI, 2022). Las empresas proveedoras de equipo original tienen certificados sus procesos de gestión con normas internacionales como la TS-16949<sup>2</sup>. Los bienes se fabrican bajo normas de producto como ISO<sup>3</sup>, ASTM<sup>4</sup>, CE<sup>5</sup> y JIS<sup>6</sup>, además de las normas privadas de las casas matrices mundiales de vehículos para las cuales la industria autopartista es proveedor en Colombia, Venezuela y Ecuador, entre otros. (ANDI, 2022).

El origen de las inversiones en esta industria es muy variado pues se tiene de Estados Unidos, Japón, Francia, México, Brasil, Venezuela, lo que además incluye asistencia técnica de productores mundiales de partes eléctricas, llantas, vidrio, partes de transmisión. (ANDI, 2022).

---

<sup>2</sup> TS-16949 es el estándar de gestión de calidad para la industria automotriz reconocido mundialmente.

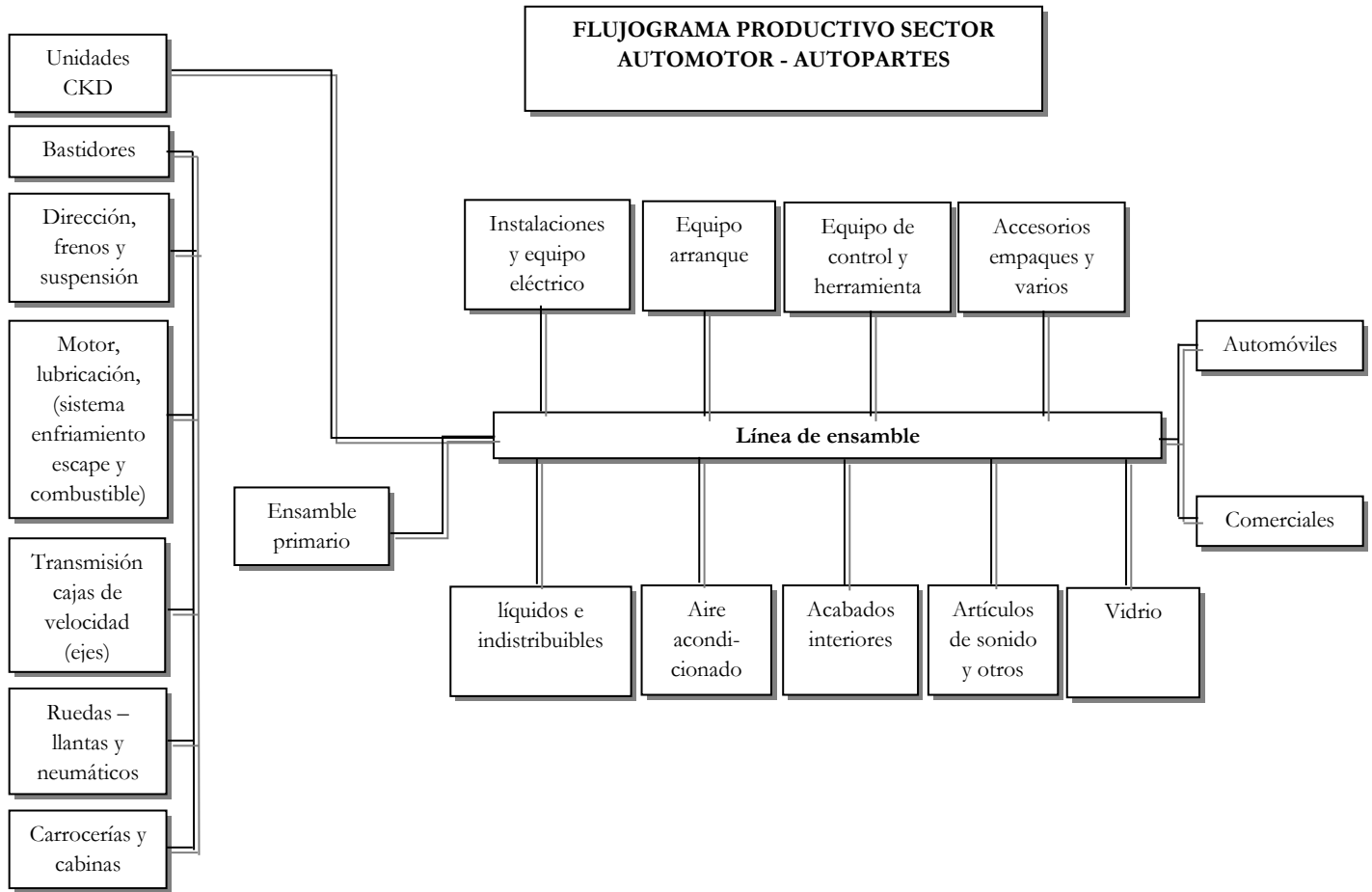
<sup>3</sup> ISO SO: Internacional Organization for Standardization

<sup>4</sup> ASTM American Society for Testing and Materials

<sup>5</sup> CE: "Conformité Européenne"

<sup>6</sup> JIS: Japanese Industrial Standards.

Figura 1. Flujoograma productivo sector automotor - autopartes.



Fuente: Adaptado de (ANDI, 2022)

La cadena productiva autopartes-automotor en Colombia comprende la actividad de ensamble de vehículos automotores y la fabricación de partes y piezas de vehículos utilizadas en el ensamble y como repuestos. Actualmente se tienen nueve empresas autorizadas para el ensamble y tres de ellas generan más del 90% de la producción de vehículos (MINEDUCACION, 2022).

La cadena de autopartes responde a una línea de transformación de materias primas, que participa en la actividad de ensamble de vehículos, que incluye operaciones de armada, montaje y pintura. Así mismo, se presenta una modificación en el perfil de competencias requeridas, existiendo una demanda de mayor escolaridad y de competencias de nuevo tipo, que requieren saberes tecnológicos diferentes (MINEDUCACION, 2022).

Por lo tanto, dentro del marco de referencia es importante revisar algunos de los principios básicos de la Metodología Six Sigma sus antecedentes, su relación con el desarrollo de proyectos, el recurso humano, la formación, la administración de procesos y la medición. La presente justificación tiene como propósito enfocarse y centrarse en identificar algunos de los aspectos claves (técnicos / administrativos) y la gran variedad de herramientas utilizadas para la implementación exitosa en la industria de autopartes.

## 1.2. Marco Teórico

Existen varias herramientas o métodos de gestión para optimizar la calidad del producto dentro del concepto de programa de mejora, incluidos SIX SIGMA (SS) y DMAIC. Six Sigma se puede definir como un método destinado a reducir el desperdicio, incluida la eliminación del reproceso, la mejora de la calidad, el costo y el tiempo del proceso

(Goyal et al., 2019). También se ha encontrado que, además, el término “SIGMA” proviene del alfabeto griego que significa desviación estándar, de ahí el nombre SIX SIGMA propuesto por Mikel Harry, debido a que el término variación se mide por desviación estándar en estadística y se utiliza principalmente para describir la variabilidad de un proceso (Erdogan & Canatan, 2015).

### 1.1.1 Ciclo DMAIC

En el estudio de Arumugam, Antony & Linderman (2016) se definen las etapas del ciclo DMAIC así:

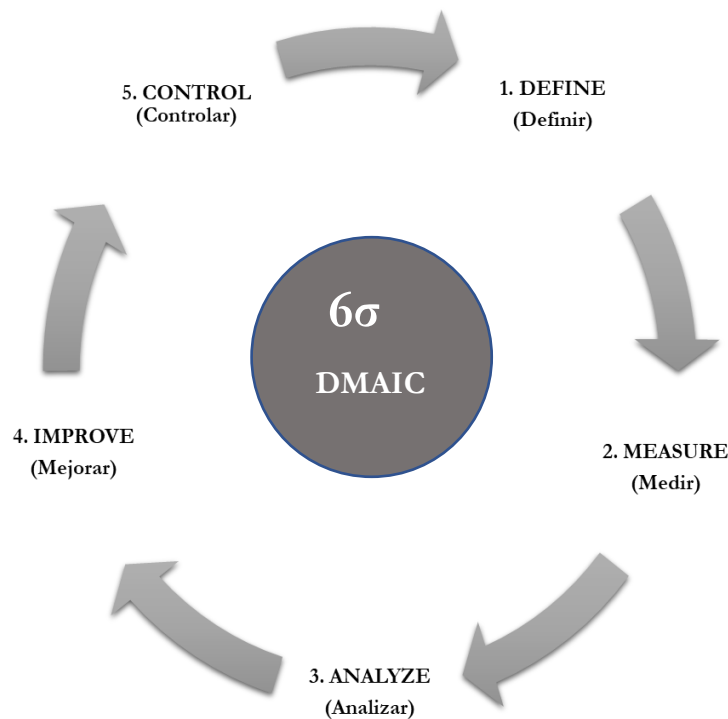
El método se basa en la resolución de problemas y es una de las técnicas más utilizadas en la industria, por lo que a continuación se explica cada paso:

**Tabla 1. Etapas ciclo DMAIC**

Fase	Definición
<b>Define (Definir)</b>	Delimita el alcance del proyecto y define lo que es importante para el cliente (Interno/Externo).
<b>Measure (Medir)</b>	Determinar lo que debe medirse, verifica los sistemas de medición, cuantificar el desempeño actual y estimar el objetivo de mejora.
<b>Analyze (Analizar)</b>	Identificar las causas de los cambios y fallas, y proporcionar evidencia estadística de las causas reales
<b>Improve (Mejorar)</b>	Determinar soluciones y formas de combatir las causas, incluidos niveles de rendimiento y tolerancias, y recomiende soluciones con evidencia estadística de que funcionan.
<b>Control (Controlar)</b>	Ubicar controles estratégicos para mantener la mejora a lo largo del tiempo y brinde evidencia estadística de que la mejora está funcionando.

**Fuente:** Adaptado de (Arumugam, Antony, & Linderman, 2016)

**Figura 2. Ciclo DMAIC**



**Fuente:** Adaptado de (Arumugam, Antony & Linderman (2016)

### 1.1.2 Variación del proceso, herramientas estadísticas y de calidad

“La variación es inherente en los procesos y productos. Hay variación del proceso debido a causas comunes y también por razones especiales, los procesos que actúan solo por causas comunes se dice que están estadísticamente controlados o estables, los procesos con causas específicas, la diferencia que provoca el cambio se conoce como fuera de control o estadísticamente inestable. El uso de herramientas estadísticas permitirá la observación y análisis gráfico del comportamiento de las causas de cambio en el proceso para distinguir entre las diferencias, ya sean comunes o si surgen de causas específicas” (Tinoco, Bermea, Gamboa, & Rubio, 2017)

Por otra parte, las herramientas estadísticas y de calidad, son cruciales para la implementación de los proyectos SS son las herramientas básicas que se utilizan en calidad para reducir las deficiencias del proceso (Shivajee, Singh, & Rastogi, 2019, p.5). Se pueden aplicar varios métodos y herramientas de calidad estadística para el éxito de un proyecto en cada etapa, tales como: Diagramas de flujo de proceso, Análisis de modo de falla (FMEA), Diagramas de causa y efecto, Hoja de verificación, diagrama de control y análisis de regresión, Defecto por millón de oportunidades (DPMO), diagrama de flujo del proceso, Diagrama de Pareto, Voz del Cliente, entre otros (Sengottuvelan, Sivakumar, & Nandagopal, 2018) (Cohen, Alhuraish, Robledo, & Kobi, 2020). Estas herramientas son de gran utilidad y están íntimamente ligadas a la metodología DMAIC para incidir de manera efectiva en la mejora de procesos específicos y la implementación de la metodología Six Sigma (Cohen et al., 2020).

En la siguiente tabla, se mencionan algunas herramientas de calidad usadas en los proyectos Six Sigma:

**Tabla 2. Técnicas y herramientas de calidad**

<b>Técnicas y herramientas</b>
Diagrama de flujo de proceso
Modo de falla y análisis de efectos (FMEA)
Diagrama causa y efecto (Ishikawa)
Hoja de verificación
Diagrama de control
Análisis de regresión
Defectos por millón de oportunidades (DPMO)
Diagrama de Pareto
Voz del cliente

**Fuente:** Adaptado de (Sengottuvelan, Sivakumar, & Nandagopal, 2018) (Cohen, Alhuraish, Robledo, & Kobi, 2020).

### 1.1.3. Mejora Continua.

De acuerdo con Pugna, Negrea y Miclea (2016) y teniendo en cuenta el mercado en la época de la globalización, las exigencias de los mercados en permanente evolución exigen una adaptación continua de las ofertas de la empresa. El desarrollo y mejora continua de los sistemas de gestión de la calidad y el medio ambiente sería anticipar estos desarrollos y por tanto satisfacer plenamente las necesidades y expectativas de cada socio (clientes, personal y otros grupos de interés) y también mantener la ventaja competitiva. Una de las posibilidades de alcanzar la excelencia operativa es implementar diferentes iniciativas de mejora de la calidad como Gestión de Calidad Total, certificación ISO<sup>7</sup>, Manufactura Agile & Lean, entre otros. La vida real demostró que estas iniciativas no son eficientes en tiempo ni rentables en términos de calidad. Por lo tanto, se demostró que la introducción e implementación de la metodología Six Sigma proporciona mejoras de calidad innovadoras en un tiempo razonablemente corto.

Por consiguiente, la alta demanda, el crecimiento del mercado y la competitividad global exigen altos estándares de calidad a las organizaciones; por lo tanto, se ven obligados a desarrollar métodos para obtener productos de bajo costo que cumplan con las expectativas del cliente (Hoem & Lodgaard, 2016).

La Mejora continua se convierte en una estrategia que busca potenciar la eficiencia de las operaciones, pero antes de encontrar lo que corresponde a los resultados, se debe trabajar para desarrollar una cultura organizacional que esté totalmente comprometida con la continuidad de las operaciones del negocio y establezca estándares en el desarrollo de sus procesos (Hoem & Lodgaard, 2016). Como resultado, la mejora continua se integra como parte de los procesos y se convierte en un modelo de cooperación en la promoción de ideas relacionadas con los objetivos generales de la organización, lo que conduce al mejor resultado posible para optimizar los recursos y los procesos con mayor rapidez. (Gammea & Lodgaard, 2019).

### 1.1.4. Factores críticos de éxito en la aplicación de la Metodología Six Sigma.

Para que el desempeño de una organización se refleje y se mantenga en el tiempo a través del desarrollo de la metodología, se enfatiza que es necesario saber cómo administrar una serie de factores importantes, tales como: participación continua de la alta dirección, reforzar la capacitación, la cual requiere de tiempo de los colaboradores para la adopción de buenas prácticas; la educación como base para mejorar los conceptos aplicados y cambiar la cultura para que las mejores prácticas perduren en el tiempo (Alhuraish et al., 2017). Sin embargo, a medida que prolifera la automatización de fábricas, la capacidad de los trabajadores se impulsa al cambio por la necesidad de involucrar a otras partes interesadas de los sistemas interconectados (Gleeson et al., 2019; Deeb, El Haouzi, Aubry, & Dassisti, 2018).

## 1.2. Principios de la Metodología Six Sigma

En 1986, Motorola desarrolló e implementó una metodología Six Sigma para mejorar la calidad del producto analizando y evaluando los cambios en el proceso de fabricación; a través de Six Sigma lograron mejorar la productividad y estabilizar el proceso (Gleeson, Coughlan, Goodman, Newell, & Hargaden, 2019) Motorola alcanzo su objetivo de 3,4 defectos por millón de productos en un esfuerzo por reducir las quejas de los clientes, lo que esencialmente significa 3-4 defectos por millón de productos (Erdogan & Canatan, 2015; Rodriguez, 2015). La metodología Six Sigma ha sido aplicada en diferentes organizaciones como: General Electric que la utilizo para disminuir la cantidad de productos, aumentar la rentabilidad y enfocarse en productos específicos y la compañía norteamericana Ford a partir de 1999, con el fin de estandarizar el proceso mejorar la velocidad del proceso de producción obteniendo resultados significativos como: mejoras en calidad, velocidad y reducción de costos (Gleeson et al, 2019).

La metodología Six Sigma se enfoca en la mejora de procesos y la reducción de defectos en los productos a través de un ciclo de cinco pasos que deben desarrollarse de manera secuencial y completamente interdependiente (Smełkowska & Mrugalska, 2018). Además, son procesos altamente disciplinados, basados en datos, estadísticos y orientados al cliente que permiten el diseño y la entrega de productos y servicios casi perfectos que definen lo que los clientes quieren. Los

---

<sup>7</sup> ISO: International Organization for Standardization

productos esperados son ideales, siempre con un ahorro mínimo de costos y variaciones, que cumplen con las características requeridas (Erdogan & Canatan, 2015).

La metodología Six Sigma tiene como objetivo optimizar el desempeño de una organización al reducir la variabilidad de los resultados obtenidos de un proceso nuevo o existente; Se trata de mejorar los procesos existentes y llevarlos a una tasa de error mínima mediante el desarrollo de cinco etapas DMAIC, mediante la implementación de herramientas estadísticas, cuantitativas y cualitativas integradas para reducir los errores, la variación del proceso y lograr altos estándares de calidad (Deeb et al., 2018). La metodología Six Sigma se está convirtiendo en una de las últimas iniciativas que utilizarán muchas organizaciones dentro de su estructura organizacional para mejorar la calidad, incluidos métodos como estrategias de reducción de costos, cultura de cambio, desarrollo de nuevos productos y más (Erdogan & Canatan, 2015).

Para adoptar la metodología Six Sigma y que esta se sostenga en el tiempo, es necesario contar con un grupo de personas que cuenten con las habilidades específicas y que conozcan los procesos de la compañía para identificar las posibles desviaciones de los procesos, en este orden de ideas se debe contar con un equipo formado y debidamente estructurado con capacidades para analizar; no obstante, es importante que el grupo de integrantes de Six Sigma cuenten con las certificaciones y capacitaciones según sea el caso, los cuales se distinguen por colores “literal” de una correa que representa un nivel diferente con competencias y responsabilidades específicas; los cuales se denominan Master Black Belt (responsable y administra el equipo), Black Belt (encargado de llevar importantes proyectos), Green Belt (se encarga de proyectos pequeños) (Deeb et al., 2018). Estos equipos tienen su principal objetivo; identificar brechas en el proceso, tratar de mejorarlas aplicando y utilizando herramientas de calidad para implementar y monitorear la efectividad del proceso (Cohen et al., 2020).

Otra forma de contribuir a la mejora continua de los procesos es la manufactura esbelta, la aplicación sistemática de técnicas y procesos que reducen los defectos y elevan los estándares de calidad, asegurando una productividad significativa en el proceso. (Krishna et al., 2019). Hoy en día, los conceptos de reducción de residuos, uso de materias primas y mejora de procesos están cobrando fuerza; no necesariamente porque ayuden a reducir costos, sino porque involucran una producción sustentable, tratando de tener el menor impacto posible sobre el medio ambiente, los recursos naturales y la seguridad de los trabajadores (Goyal, Agrawal, & Saha, 2019).

### **1.3. Antecedentes**

Después de una búsqueda detallada, se encontró que la metodología Six Sigma ha sido empleada para estudios de casos que involucran la adopción de esta y el mejoramiento continuo de procesos en ciertas empresas. Por un lado, en el documento “Caracterización del grado de implementación de metodologías de mejora de calidad y productividad en empresas manufactureras de la ciudad de Cali”, se concluyó que “los resultados obtenidos muestran que hay nivel medianamente bajo en cuanto a la adopción de las metodologías abordadas”. (Benavides & Masso Alzate, 2019). Asimismo, en el documento “Aplicación de Lean Manufacturing, en la industria automotriz”, se identificó “el impacto positivo que tienen las industrias al incorporar las metodologías de mejora, por lo que el estudio determino la relevancia de estas en la aplicación de las metodologías”. (Bolaños Salas, Campo Banguero, & Ramírez Muñoz, 2019). Del mismo modo, en el documento “Propuesta de implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café tostado y molido”, se afirma que “la investigación evidenció que la implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café, es muy necesaria, por ser considerado uno de los productos más comercializados en el mundo”. (Gallego Urrea & Garcia Jiménez, 2019). Por otro lado, en el documento “Análisis de costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019”, se encontró que “la cantidad de beneficios en reducción de costos adyacentes al proceso de extracción es mucho mayor ocurriendo entonces una ventaja para la explotación”. (García & Silva Ruiz, 2019). Del mismo modo, en el artículo científico “Aumento de beneficios para pequeñas y medianas empresas utilizando Lean Six Sigma”, se concluyó que “los resultados del estudio sugirieron que los desechos se pueden reducir hasta en un 50%. En consecuencia, el beneficio aumenta un 7% si la empresa actúa por recomendación”. (Kharub, Ruchitha, Hariharan, & Vamsi, 2022). Asimismo, en el artículo “Identificación de barreras Lean Six Sigma en la industria de fabricación de autopartes”, los autores identificaron las barreras que enfrentan las industrias automotrices estudiadas para

fabricar una unidad y también continuar indagando sobre la metodología lean Six Sigma.” (Rathi, y otros, 2022). Por otro lado, en el artículo científico “Optimización del rendimiento del producto en una planta de fabricación de automóviles con herramientas DOE Shainin: un estudio de caso”, se lograron “identificar las principales variaciones en el proceso de instalación de guardabarro trasero de las motocicletas, teniendo como principal factor, el desplazamiento del guardabarro.” (Kumar, y otros, 2022). Del mismo modo, en el documento “Propuesta de mejoramiento para los procesos de Litoprint S.A. implementando BSC y Lean Six Sigma”, “la implementación del proyecto en la línea piloto generó los suficientes beneficios económicos y ambientales siendo viable su réplica en los demás equipos de la compañía para cubrir el 100% de los procesos y de los productos”. (Beltran Moreno, De León de la Ossa, & Olano, 2016). Por otra parte, se presenta el resumen general de cada artículo contemplando la información más relevante y las iniciativas de cada investigación, el cual se tabulo considerando cinco variables de la siguiente manera: referencia autor – fecha, título, objetivo, metodología estudiada y conclusiones (Véase anexo A – análisis de antecedentes).

Teniendo en cuenta lo anterior, las metodologías y herramientas de mejora continua han estado presente en el desarrollo de todos los trabajos expuestos, acompañada por resultados positivos según los datos reflejados en los trabajos objeto de estudio. Es importante destacar que las metodologías a pesar de ser mencionadas y conocidas finales del siglo XX, la implementación y aplicación de la mayoría de las herramientas es relativamente bajo en las diferentes industrias. Claramente se evidencia que hace falta un poco más de pedagogía en este sector para que las industrias comiencen a creer en la técnicas, herramientas y metodologías para que puedan ser aplicadas e implementadas de manera efectiva; por lo que reflejan algunos casos de estudio se evidencia que hace falta credibilidad por parte de las altas directivas para que las plasmen e incentiven la implementación de estas en sus estrategias de negocio. Sumado a esto, se requiere de grupos interdisciplinarios que apoyen y realicen seguimiento constante al cumplimiento de los objetivos para que la implementación sea efectiva.

También se pudo identificar que el material de investigación es limitado respecto a la aplicación de las diferentes metodologías en la región lo que indica que se debe reforzar y proponer este conocimiento académico-empresarial en búsqueda de un impacto positivo en los resultados generales de las compañías. Lo que corresponde a la implementación de la metodología Six Sigma, se evidencio una ausencia de datos respecto a los antecedentes que se representan en el trabajo, sin embargo y pese a la poca información, se observa que la metodología ha funcionado con anterioridad en proyectos a gran escala en diferentes empresas, sin embargo, se observa que el porcentaje de participación de la metodología es insuficiente por el poco material con el que se cuenta disponible en proyectos realizados en el sector.

Cabe destacar que se tiene un marco amplio de implementación de las diferentes metodologías por el alto campo de acción en las que pueden ser adoptadas y un mercado abierto tanto en empresas de bienes y/o servicios, que pueden ser aprovechadas efectivamente por los beneficios que pueden significar la implementación de las herramientas en materia de aprovechamiento de recursos, disminución de tiempos y costos; considerando que todas las metodologías, participan activamente en la mejora de los procesos en las que se defina su intervención.

Del mismo modo, las empresas de autopartes han encontrado un apoyo en la Metodología Six Sigma como una herramienta útil que ayuda a potencializar diferentes procesos de una compañía, con el fin de aumentar la competitividad, productividad y garantizar una continua reducción de las variaciones en los procesos productivos de la compañía. La metodología aplicada de una manera correcta, pueden representar grandes beneficios a nivel económico en términos de gestión de recursos.

## 2. METODOLOGIA

Para el desarrollo del presente artículo de revisión, se realizaron búsquedas en bases de datos especializadas y se tuvieron en cuenta aportes de diferentes artículos científicos calificados de revistas especializadas que detallaran la aplicabilidad de la Metodología Six Sigma (MSS) en el sector de autopartes, por lo que fue importante realizar una preselección de los artículos más relevantes que reflexionaran los aportes significativos en la aplicación de la metodología. Se consideraron los artículos científicos que concentraran literatura acerca del uso y/o aplicación de la MSS<sup>8</sup> que estuvieran enfocados en mejorar la productividad, rendimiento y competitividad en el sector de autopartes.

El presente artículo se realizará aplicando la metodología descriptiva, que permite señalar cualidades y atributos de los casos de estudio. Utilizando el método analítico se pretende revisar la integración de conocimientos de la metodología SS<sup>9</sup> y su aporte desde la interdisciplinariedad aplicada en cada caso. Por medio de la lectura reflexiva y crítica se identificaron los rasgos y características de las herramientas más utilizadas y los logros alcanzados en los casos de estudio (Bernal Torres, 2010).

Bajo esta investigación, empleamos el método de muestreo aleatorio simple (MAS) para una “población finita” (Bernal Torres, 2010) para definir el tamaño de la muestra, utilizando un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 3%, se recopilamos artículos científicos calificados resultantes de la búsqueda en bases de datos especializadas que mencionan la aplicabilidad de la metodología Six Sigma en diferentes industrias y principalmente en industrias del sector automotriz o de autopartes que contienen los conceptos básicos propios de la investigación; El resultado indica que se deben emplear por lo menos once artículos científicos para la revisión de los casos. Después de conocer la cantidad de artículos que se deben considerar; el presente estudio consiste en profundizar en la revisión documental sobre la metodología Six Sigma y sus aportes en los once artículos de casos aplicados, concentrándose en el objetivo principal, el cual consiste en analizar las bondades, fortalezas y aportes de esta poderosa herramienta en el control de los procesos y la gestión en la productividad y competitividad. A continuación, se detalla en la figura 3, la formula a utilizar para la selección de todos los artículos que participaran en la revisión bibliográfica.

Calcular el tamaño de una muestra para una población de 12 artículos científicos “producto de la búsqueda con la aplicabilidad de la metodología six sigma + Autopartes – Automobilitad – Automotriz” se asigna un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 3%. Donde se desconoce la probabilidad “p” del evento

Figura 3. Calculo Tamaño de Muestra Finita

Parametro	Insertar Valor	Tamaño de muestra	n =	Tamaño de muestra
N =	12	"n"	11,88	N = Poblacion de estudio
Z =	1,960			Z = Factor de confiabilidad
p =	50%			E = Margen de error maximo permisible
q =	50%			p = Probabilidad de que ocurra el suceso esperado.
E =	3,00%			q = Complemento de p

$$n = \frac{Nz^2 p^2}{(N - 1)E^2 + z^2 p^2}$$

Nivel de Confiabilidad (%)	K
89.6	1.5
90.0	1.64
95.0	1.96
96.0	2.0
98.1	2.5

Fuente: Adaptado de (Bernal Torres, 2010)

<sup>8</sup> MSS: Metodología Six Sigma

<sup>9</sup> SS: Six Sigma

Así mismo, las etapas llevadas a cabo fueron las siguientes:

- ✓ Revisión documental de la metodología Six Sigma, referente a diferentes casos de estudio del sector autopartes
- ✓ Distinciones de los resultados obtenidos con el fin de analizar los tipos de variables y herramientas utilizadas para el desarrollo del caso de estudio.
- ✓ Comparaciones de datos, se concentró básicamente en resultados previos y posteriores de la implementación de la metodología Six Sigma.
- ✓ Se tabuló la información de los once casos de estudio organizada en cinco variables de la siguiente manera: (autor, fecha, país de aplicación, metodología, objetivo de mejoramiento, principales herramientas de análisis utilizadas, indicadores de desempeño de la planta - previos a la implementación de  $6\sigma$ <sup>10</sup>, indicadores de desempeño de la planta - posterior a la implementación de  $6\sigma$  y principales hallazgos).
- ✓ Resultados y Conclusiones generales de los casos de aplicación de la metodología Six Sigma.

### 3. CASOS DE APLICACIÓN METODOLOGIA SIX SIGMA

De acuerdo con lo expuesto por Alhuraish, Robledo y Kobi (2017) la importancia de implementar la metodología SIX SIGMA se basa en mejorar la capacidad de lograr resultados financieros y operativos óptimos; por lo tanto, la ventaja competitiva se logra cuando las empresas adoptan las mejores prácticas "consistentes" que ayudan a alcanzar las metas de la organización y desarrollar estrategias recomendadas por la alta dirección. Los beneficios de utilizar la metodología Six Sigma incluyen aspectos económicos, de desempeño, sociales, ambientales y de sustentabilidad. Además, el uso de la metodología Six Sigma - DMAIC busca que las organizaciones alcancen la excelencia operativa en términos de calidad; teniendo en cuenta una amplia gama de metas en términos de costo, tiempo de respuesta, durabilidad, preocupación por los recursos y el medio ambiente, sin descuidar la seguridad del trabajador.

#### 3.1. Análisis de casos

En este artículo se presta especial atención a la aplicación de la metodología en las empresas de fabricación de autopartes, ya que su principal objetivo es proporcionar piezas y materiales de alta calidad a las organizaciones de fabricación de automóviles; a continuación, se presentaran once casos de aplicación que hacen especial énfasis al desarrollo de la metodología SIX SIGMA en algunas industrias del sector de autopartes que contribuyen controlar la productividad y los servicios en la industria de autopartes, haciendo uso de las herramientas de calidad, aplicación de indicadores como: CP<sup>11</sup>, CPK<sup>12</sup>, DPMO<sup>13</sup>, MTBF<sup>14</sup>, MTTR<sup>15</sup>, Indicadores de servicio y el cumplimiento, todos en búsqueda de lograr la mayor eficacia, calidad del trabajo realizado, eficiencia, gestión del tiempo, entre otros:

#### ***En el Caso # 1: Mejora de la confiabilidad para la máquina TSR de Banbury Mixer mediante el proceso de optimización de planta***

Analizado por los autores Lomte, Bhosle, Ambad, & Gaikwak (2018) en la ejecución del proyecto se logra confiabilidad, es decir, se reduce la avería de la máquina TSR del mezclador de caucho para llantas Banbury, utilizando las herramientas de análisis calidad se pudo identificar los puntos críticos, mejorando el rendimiento del equipo TRS, se evidencia el aumento de la productividad y la mejora mediante la aplicación de la metodología. El análisis se enfocó en

---

<sup>10</sup>  $6\sigma$ : Six Sigma

<sup>11</sup> CP: Habilidad del proceso

<sup>12</sup> CPK: Índice de capacidad del proceso

<sup>13</sup> DPMO: Defectos Por Millón de Oportunidades

<sup>14</sup> MTBF: Mean Time Between Failures

<sup>15</sup> MTTR: Mean Time To Repair

mejorar el indicador clave de rendimiento de mantenimiento, mediante el aumento del MTBF y disminución del MTTR.

Se analizaron las averías y se identificaron las piezas críticas, mediante el análisis de los cinco porque, se estableció un desglose de piezas del equipo para identificar las piezas más recurrentes en las fallas y se capacito al personal técnico para que notificara el desgaste de estas en los mantenimientos preventivos por medio de una lista de verificación. Para la identificación de las fallas se utilizó la metodología DMAIC.

La confiabilidad de la máquina es esencial en términos de mejor rendimiento, cero averías y seguridad. Para evaluar avería de la máquina, fallas varios KPI<sup>16</sup> (indicadores clave de rendimiento) MTBF, MTTR se pueden usar para rastrear la gráfica mediante el análisis de fallas repetidas utilizando la herramienta de análisis de causa raíz, es decir, el análisis de por qué, problema principal de falla de la máquina ayuda a identificar soluciones coherentes y sostenibles (Lomte, Bhosle, Ambad, & Gaikwak, 2018).

### ***En el Caso # 2: Resolución de problemas de calidad en el proceso de preparación de la producción de neumáticos: un enfoque práctico***

Este proyecto se desarrolló en una fábrica de neumáticos de nombre “Continental” ubicada en Portugal. El trabajo consistió en la estabilización del proceso de fabricación de producción de perlas APEX para los neumáticos. El objetivo principal buscaba mejorar el rendimiento de la maquina extrusora APEX y la capacidad del proceso, por lo que fue necesario identificar las posibles causas de generación de defectos usando la metodología DMAIC. Por medio de experimentos de análisis de varianza se identifican los rangos ideales de temperatura y velocidad de extrusión que debe trabajar el equipo. Se logra mejorar la tasa de calidad del producto y estabilización del proceso (Barbosaa, Pereira, Silva, & Campilho, 2017).

En este caso los análisis de varianza fueron determinantes para identificar las condiciones ideales de operación por medio de los experimentos aplicados. Es importante resaltar que se deben considerar todos los datos que incidan en la transformación del producto, para este caso se consideraron las velocidades y las temperaturas para alcanzar los índices de calidad deseados. (Barbosaa, Pereira, Silva, & Campilho, 2017).

### ***Caso # 3: Aplicación de la metodología Shainin para reducir los rechazos en Spur fabricación de engranajes***

En el trabajo de Khavekar, Vasudevan y Deshpande (2018) se realizó análisis de proceso mediante el uso herramientas de calidad para reducir la variación de un proceso. Se logró reducción del desperdicio en la variación de dimensional en la fabricación de engranajes rectos y cilíndricos en una industria de la India, utilizando análisis de Pareto y la herramienta Grafico Multi-Vari, para identificar variables sospechosas; el análisis tuvo una duración aproximada de 3 meses. Se empleo la metodología DMAIC para identificar variaciones.

Multi-Vari Chart es una poderosa herramienta para reducir el número de variables sospechosas. Se pueden usar herramientas Shanin y es aplicable a cualquier industria y es parte de la implementación de Six Sigma. Además, es una herramienta muy útil en unidades de fabricación a pequeña escala que se pueden utilizar para mejorar la calidad de un producto. En este caso podemos observar que la herramienta utilizada como apoyo, sirvió para identificar el modelo de fallas que conduce a la resolución del problema, tal como lo destaca el autor, esta herramienta se integra a los principios de six sigma para la reducción de variaciones en los procesos. (Khavekar, Vasudevan, & Deshpande, 2018)

### ***Caso # 4: Uso de la metodología Six Sigma para mejorar el proceso de ensamblaje en una empresa automotriz***

En el caso descrito por Pugna, Negrea y Miclea (2016) aplican la metodología DMAIC para el proceso de remachado en una industria de autopartes. Busca mejorar el diseño de la herramienta manual de remachado, con el fin de mejorar la calidad y reducir los defectos utilizando las herramientas estadísticas adecuadas para la mejora del proceso y ofrecer productos perfectos para promover los "Cero defectos" (desde el diseño hasta el proceso producción). El proceso se puso en control, la capacidad del proceso de remachado se mejoró sustancialmente ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ), adicionalmente

---

<sup>16</sup> KPI: Key Performance Indicator

disminuyeron los DPMO y disminuyó la variación del proceso.

Al aplicar la metodología DMAIC Six Sigma y las herramientas de calidad al proceso de remachado, se obtiene lo siguiente: se puede identificar que el diseño de la herramienta mejoró sustancialmente, con la implementación de ayudas visuales que permitan identificar la fuerza necesaria que se requiere para el proceso de remachado. Es importante señalar que los procesos se pueden mejorar si se hace una correcta definición del problema, con el apoyo de datos estadísticos que permitan tomar decisiones para la implementación de herramientas prácticas y tecnológicas que reduzcan la variación en los procesos. (Pugna, Negrea, & Miclea, 2016).

#### **Caso # 5: Análisis de defectos y experiencia en la implementación de Lean Six Sigma en una línea de montaje automotriz**

En el artículo de Krishna Priya, Jayakumar y Suresh Kumar (2019) se presenta un caso de estudio sobre la implementación de SS para una planta de ensamblaje automotriz. En el proyecto se buscó reducir / eliminar procesos sin valor agregado en la línea de ensamblaje. Se realiza un análisis exhaustivo de defectos para examinar, medir y reducir las fuentes de fallas en todo el proceso de ensamblaje automotriz, para optimizar la ocurrencia de defectos, mejorar y mantener el rendimiento durante todo el proceso. En este estudio, se identificaron tres actividades sin valor agregado y 12 defectos. Las soluciones se proporcionaron utilizando estrategias LSS, DMAIC y Análisis Causa Raíz (ANR) herramientas y técnicas.

#### **Caso # 6: Uso de Six Sigma para analizar la Satisfacción del Cliente en la etapa de diseño y desarrollo del producto**

Este proyecto tiene como objetivo analizar el KPI (Indicadores clave de desempeño, por sus siglas en inglés) y CS (Satisfacción del cliente) en las etapas de diseño y desarrollo del producto para obtener siempre el resultado óptimo de 100%, de acuerdo con las especificaciones exigidas por el cliente. A partir de los datos de KPI y CS, se calculó la capacidad y variación del proceso utilizando la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Diseñar y Verificar (DMADV). Finalmente, se obtuvieron los resultados deseados de control de calidad y tiempo de comercialización para el rango de valores dentro de las ( $6\sigma$ ) con los límites de control apropiados. Con este estudio, la empresa pudo identificar dónde está ocurriendo la recurrencia de los problemas. Conocer la causa de los problemas permitió cambios y mejoras en los procesos. El estudio del proyecto sirvió para tomar medidas correctivas y preventivas para que no se repita el problema (Pereira, Bento, Ferreira, Sá, & Silva, 2019).

#### **Caso # 7: Enfoque Lean Six Sigma en un conglomerado auxiliar de automóvil indio: un estudio de caso**

El proyecto de estudio realizado por Raniprasad, Jiju y Gijo (2018) tuvo como propósito ilustrar cómo se aplicó la metodología Lean Six Sigma (LSS) a un conglomerado auxiliar de automóviles en la India para lograr la excelencia operativa y mejorar el rendimiento de un proceso de línea de transferencia semiautomatizada de la organización. Las causas fundamentales del problema se identificaron y validaron mediante el análisis de herramientas de calidad en diferentes etapas del estudio. La aplicación de la metodología DMAIC dio como resultado una reducción de los defectos de perforación durante el mecanizado de los cuerpos de los inyectores y redujo los defectos por millón de oportunidades de 38.000 a 5.600. El proyecto fue desarrollado en la India y la aplicación de la metodología Six Sigma tuvo un impacto financiero significativo (ahorro de aproximadamente 1,4 millones de INR (unidades monetarias) por año).

#### **Caso # 8: Aplicación de Six Sigma para la mejora de la calidad del proceso de inserción de pasadores proceso**

Según Costa, Lopes, y Brito, (2019) hacen relación a un estudio de aplicación que se realizó en una industria de automóviles, con el objetivo de reducir las unidades defectuosas de un proceso automático para la inserción de un pin pasador. Los defectos se presentaban en especial por la fuerza excesiva en la inserción del pin en las placas del circuito ocasionaba desgastes en los componentes de la máquina, esto generaba altos costos de rechazos y paradas en las líneas de ensamble. Para este caso se aplicó la metodología DMAIC por medio de un conjunto de mejoras para reducir las fuerzas de inserción ajustadas al proceso. Este proyecto logró elevar los niveles de calidad en el proceso, lo estabilizó, lo puso bajo control y alcanzó beneficios económicos. “Este trabajo describe la realización de un proyecto Six Sigma que

consistió en reducir el número de unidades defectuosas producidas por el proceso de inserción de pasadores en una industria automotriz mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma, con el fin de reducir los costos de calidad inherentes y no comprometer el abastecimiento de las líneas de montaje final”. Sin embargo, se observó que, en el entorno industrial, el recurso "tiempo" se convierte en un obstáculo para el uso de herramientas avanzadas (Costa, Lopes, & Brito, 2019).

***Caso # 9: Aplicación de la metodología Lean Six Sigma utilizando el enfoque DMAIC para la mejora del proceso de ensamblaje de bogies en la industria de automotores***

Según Daniyan, Adeodu, Mpofo, Maladzhi, y Kana-Kana Katumba, (2022) La búsqueda de la reducción de residuos, la mejora de la calidad y la eficiencia operativa durante el proceso de montaje del bogie del vagón requiere este estudio. Usando un enfoque de estudio de caso, este estudio emplea el enfoque Lean Six Sigma (LSS) para la mejora del proceso de ensamblaje de bogies de vagones. Los datos primarios relacionados con el proceso de ensamblaje, como el flujo de mano de obra y material, los tiempos de subida y bajada, se recopilaron en cada etapa de la operación de ensamblaje. El objetivo de este estudio fue demostrar el uso de Lean Six Sigma (LSS) para mejorar la eficiencia de la operación de ensamblaje de bogies de vagones de ferrocarril en términos de tiempo de entrega y eficiencia del ciclo del proceso. Este estudio ha presentado algunos hallazgos teóricos y empíricos con el desarrollo de un marco LSS exitoso para las industrias manufactureras para la eliminación de desechos y la mejora de procesos. “La integración de las herramientas Lean y Six Sigma, puede ayudar a las industrias manufactureras a lograr cero defectos, un rendimiento de producción óptimo, una mejor calidad del producto y una entrega rápida a un costo óptimo” (Daniyan, Adeodu, Mpofo, Maladzhi, & Kana-Kana Katumba, 2022).

***Caso # 10: Aplicación de Six Sigma en una empresa de fabricación de neumáticos: un estudio de caso***

“De acuerdo a lo expuesto por Gupta, Jain, Meena, y Dangayach, (2018) la globalización, el avance de las tecnologías y el incremento en la demanda del cliente modifican la forma de hacer negocios en las empresas. Para superar estas barreras, el método de Six Sigma para definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC) es el más popular y útil. Este método ayuda a reducir los desechos y generar posibles formas de mejora en las industrias de procesos y servicios. En la investigación actual, se utilizó el método DMAIC para disminuir las variaciones del proceso de empalme del cordón que provocan el desperdicio de material. Se estableció una metodología DMAIC que puede desempeñar un papel clave para reducir los defectos en el proceso de fabricación de neumáticos en la India” (Gupta, Jain, Meena, & Dangayach, 2018).

***Caso # 11: Implementación de Lean Six Sigma en una industria de fabricación de ejes de automóviles: un estudio de caso***

La mejora continua en las industrias manufactureras es el requisito principal para que la organización sea rentable. La manufactura esbelta y Six Sigma son técnicas antiguas para mejorar la producción de la industria mediante la eliminación de desperdicios. Estas herramientas ayudan a la industria a crecer en todo el mundo en un entorno competitivo. Este artículo se basa en el estudio de caso de una conocida industria de fabricación de componentes de transmisión de automóviles. Esta industria fabrica alrededor de 33 tipos de ejes para diferentes vehículos y se enfrentaba al problema del rechazo en uno de sus componentes del eje trasero. La industria estaba perdiendo Rs. 7,33,000/- cada mes debido al rechazo de este eje trasero. Lean Six Sigma (LSS) fue la herramienta implementada para encontrar y eliminar desperdicios (Guleria, Pathania, Sharma, & Sá, 2022)

A continuación, se presenta en las tablas 7, 8 y 9 la tabulación y consolidación de la información de los casos de estudio organizada en cinco variables: (autor, fecha, país de aplicación, objetivo de mejoramiento, principales herramientas de análisis utilizadas, indicadores de desempeño de la planta - previos a la implementación de  $6\sigma^{17}$ , indicadores de desempeño de la planta - posterior a la implementación de  $6\sigma$  y principales logros).

---

<sup>17</sup>  $6\sigma$ : Six Sigma

Tabla 3. Resultados de los casos de aplicación

Caso No.	Autor Fecha País de aplicación	Metodología de investigación	Objetivo de Mejoramiento y Principales Herramientas de Análisis Utilizadas	Indicadores de Desempeño de la Planta – Previos y Posteriores a la Implementación de 6 $\sigma$	Principales Logros
1	Lomte, Bhosle, Ambad, & Gaikwak  2018  <b>PORTUGAL</b>	<b>DMAIC</b>	Mejorar el indicador clave de rendimiento  Cálculo del MTBF y del MTTR - Diagrama de Pareto - Análisis 5 Porque – Diagrama de flujo de proceso	<b>Antes</b> MTBF = 258,42 y MTTR= 36,29 <b>Después</b> MTBF=426,46, aumentando un 65,02 % y MTTR= 13 disminuyendo un 64,17%	“Se logra confiabilidad en la máquina - Se identificaron las fallas del deterioro de la máquina y reducir la avería, se realiza desglose de repuestos - Implementación de la técnica de optimización de la planta para restaurar el equipo a su condición adecuada. - Se realizó capacitación adecuada a los operadores sobre la técnica Periodo de estudio de 10 meses”. Los indicadores MTBF=aumento un 65,02 % y MTTR= disminuyo un 64,17%
2	Barbosaa, Pereira, Silva, & Campilho  2017  <b>PORTUGAL</b>	<b>SIX SIGMA</b>	Mejorar el rendimiento y la tasa de calidad del producto o neumático en una planta de producción de llantas  Diagrama de Pareto - Análisis de Capacidad (Cp - Cpk) - ANOVA	<b>Antes</b> • Tasa de Calidad del 19% <b>Después</b> • Tasa de Calidad del 60%	"Por medio de 12 experimentos en un periodo de 6 meses de estudio, se identificaron las principales causas posibles de generación de defectos y también se llevaron a cabo propuestas para mejorar el funcionamiento del proceso de producción de perlas APEX para mejorar la calidad de los neumáticos. Se identificaron variables que influyen en la calidad de la producción - Se logran mejoras en la tasa de calidad del producto, control y estabilización del proceso. Aumento el control y la capacidad del proceso, al igual que la tasa de calidad mejoro en un 41%"
3	Khavekar, Vasudevan y Deshpande 2018  <b>INDIA</b>	<b>SHAININ</b>	Reducción del rechazo de la variación de la dimensión del orificio del engranaje cilíndrico.  Análisis de fallas - Análisis de Pareto - Shainin Multi-Vari Chart - VSM - DOE – Causa y Efecto	<b>Antes</b> Diámetro interno =6% Rechazo por defectuoso = 0,7% <b>Después</b> Diámetro interno =1,2% Rechazo por defectuoso = 0,25%	“Se logra una reducción del rechazo de la variación de la dimensión del diámetro interior del engranaje recto del 6% (promedio de tres meses) al 1,2%, lo que resulta en un ahorro de hasta un 15% en el costo de fabricación”
4	Pugna, Negrea y Miclea  2016  <b>ROMANIA</b>	<b>SIX SIGMA</b>	Mejorar la calidad y reducir los defectos - Obtener los resultados deseados de Control de calidad y Tiempo de comercialización  Diagrama de Ishikawa - Análisis de Capacidad (Cp - Cpk) - Xbar & R charts - FMEA - Diagrama de Pareto - SIPOC - 5 Porque - Diagrama de flujo- DPMO - Test de normalidad	<b>Antes</b> Cpk =0,96, $\sigma_{cp} \approx 2,9$ $\sigma_{lp} \approx 1,4$ DPMO $\approx 81.000$ <b>Después</b> Cpk =1.72, $\sigma_{cp} \approx 5.2$ , $\sigma_{lp} \approx 3,7$ DPMO $\approx 108$	“Se mejoró el diseño de la herramienta manual de remachado permitiendo un manejo más suave - Se instaló un dispositivo de señalización acústica y visual (Poka-Yoke) - El proceso se puso en control, la capacidad del proceso de remachado se mejoró sustancialmente a corto y largo plazo - Se redujo el % de defectos del 8,1% al 0,01%”

Fuente: Fuente Propia

Tabla 4. Resultados de los casos de aplicación

Caso No.	Autor Fecha País de aplicación	Metodología de investigación	Objetivo de Mejoramiento y Principales Herramientas de Análisis Utilizadas	Indicadores de Desempeño de la Planta – Previos y Posteriores a la Implementación de $6\sigma$	Principales Logros
5	Krishna Priya, Jayakumar y Suresh Kumar  2019  <b>INDIA</b>	<b>LEAN SIX SIGMA</b>	Reducir y eliminar procesos sin valor agregado durante todo el proceso de ensamblaje automotriz  Diagrama de Ishikawa - Análisis de 5 porque - Árbol de problemas - Análisis de causa raíz	<b>Antes</b> • Remachado de marco lateral = 30 min • Montaje de parabrisas = 10 min • Perforación de soporte del domo frontal = 10 min <b>Después</b> • Remachado de marco lateral = 21 min • Montaje de parabrisas = 4 min • Perforación de soporte del domo frontal = 6 min	“Se logra identificar tres actividades sin valor agregado y 12 defectos cruciales - Se Reduce / elimina procesos sin valor agregado en la línea de ensamblaje. - La implementación de las soluciones propuestas ha dado como resultado una reducción drástica de las actividades improproductivas que gastan 19 minutos de tiempo de trabajo y un índice de defectos del 37,2% - Tiempo de implementación y estudio 6 meses aproximadamente”
6	Pereira, Bento, Ferreira, Sá, & Silva  2019  <b>PORTUGAL</b>	<b>SIX SIGMA</b>	Determinar el nivel de satisfacción del cliente mediante el cálculo de KPI's – CS  Análisis de modo de falla PFMEA - DFMEA - Estudio de distribución gaussiana Prueba Z Test - Ciclo DMAIC - Calculo del indicador de nivel de satisfacción al cliente CS	<b>Antes</b> • Reclamaciones = 3,66 • Riesgo de demora en partes = 4,71 • Reclamaciones = 7,48 • Riesgo de demora en partes = 1,29 <b>Después</b> • Reclamaciones = 2 o 1 • Riesgo de demora en partes = 0 o 1 • Reclamaciones = 2 o 1 • Riesgo de demora en partes = 0 o 1	“Se logra identificar la causa de los problemas, se ejecutan cambios o mejoras en los procesos, utilizando la fórmula de cálculo de CS, se obtuvieron los resultados deseados de Control de calidad y Tiempo de comercialización para el rango de valores dentro de las seis sigmas con los límites de control apropiados. La implementación de Six sigma significaría que habría un mayor control de la fabricación y procesos de control. Tiempo de estudio 12 meses”
7	Raniprasad, Jiju y Gijo  2018  <b>INDIA</b>	<b>LEAN SIX SIGMA</b>	Reducir los defectos de perforación durante el mecanizado de los cuerpos de los inyectores.  SIPOC - Diagrama de Pareto - Test de normalidad Anderson Darling - Diagrama Ishikawa - Lluvia de ideas - Calculo de PPM	<b>Antes</b> PPM=38.000 <b>Después</b> PPM=5.600,	“Se logra una reducción significativa de defectos a través de este estudio - La aplicación de la metodología permitió establecer un impacto positivo en términos financieros bastante significativa de reducción de defectos del 3,8% al 0,5%. Con un ahorro aproximado de 1,4 millones de INR por año Tiempo de estudio del caso 12 meses”
8	Costa, Lopes, y Brito  2019  <b>PORTUGAL</b>	<b>SIX SIGMA</b>	Reducir en número de unidades defectuosas producidas por un proceso automático, el proceso de inserción de pasadores de un solo pin.  Diagrama de Pareto - SIPOC - Calculo de PPM	<b>Antes</b> • $\sigma=4,22$ • PPM=3.231 <b>Después</b> • $\sigma=4,92$ • PPM=312	“Se logra identificar tres factores que dan lugar a los rechazos y se reducen las unidades defectuosas por medio de la implementación de la metodología SS - Se logra reducir el rechazo de un 3,2% a un 0,03% Generando ahorros por €122.000 - El nivel sigma a alcanzar era 4,22 y fue mejor porque se alcanzó un nivel 4,92 - Tiempo de estudio y aplicación de 7 a 9 meses”

Fuente: Fuente Propia

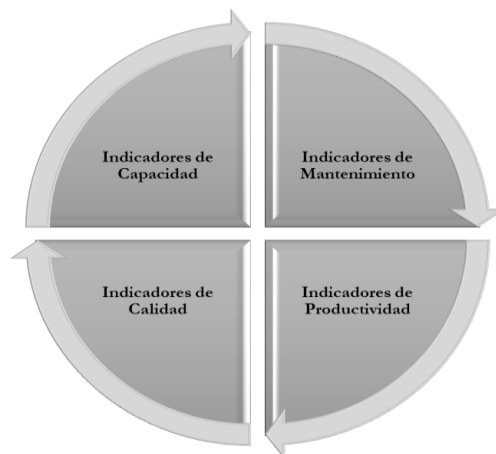
Tabla 5. Resultados de los casos de aplicación

Caso No.	Autor Fecha País de aplicación	Metodología de investigación	Objetivo de Mejoramiento y Principales Herramientas de Análisis Utilizadas	Indicadores de Desempeño de la Planta – Previos y Posteriores a la Implementación de 6σ	Principales Logros
9	(Daniyan, Adeodu, Mpofu, Maladzhi, & Kana-Kana Katumba  2022  <b>SOUTH AFRICA</b> )	<b>LEAN SIX SIGMA</b>	Mejorar la eficiencia de la operación de ensamblaje de bogies de vagones de ferrocarril en términos de tiempo de entrega y eficiencia del ciclo del proceso.  Kaizen - Value Stream Mapping - Diagrama de Pareto - Intercambio de matriz en un solo minuto (SMED) - 5S	<b>Antes</b> • Productividad = 19,9% • Reducción tiempo de entrega = 623519,97 • Aumento tiempo de valor agregado de 125828,8min • Disminución tiempo sin valor agregado de 497691,17min <b>Después</b> • Productividad = 66,7% • Reducción tiempo de entrega de = 449280min • Aumento tiempo de valor agregado = 309600min • Disminución tiempo sin valor agregado = 139680min	“La aplicación de LSS en el estudio de caso presentado es una indicación de que se puede emplear con éxito para resolver otros desafíos relacionados con las métricas del proceso, como la calidad y el tiempo total de respuesta. Los hallazgos de este trabajo establecen la idoneidad del LSS para lograr mejora de procesos y excelencia operativa en una organización. La integración de las herramientas Lean y Six Sigma, puede ayudar a las industrias manufactureras a lograr cero defectos, un rendimiento de producción óptimo, una mejor calidad del producto y una entrega rápida a un costo óptimo”.
10	Gupta, Jain, Meena, & Dangayach  2018  <b>INDIA</b> )	<b>SIX SIGMA</b>	Mejorar el índice de capacidad del proceso para disminuir las variaciones del proceso de empalme del cordón que provocan el desperdicio de material en la fabricación de neumáticos.  Análisis de Capacidad Cp – Cpk – Voz del Cliente – Diagrama Causa y Efecto	<b>Antes</b> • Desviación estándar = 2,17 • El índice de capacidad del proceso (El valor de Cp) se mejoró de = 1,65 • Índice de capacidad de rendimiento del proceso (Cpk) se mejoró de = 0,94 <b>Después</b> Desviación estándar se redujo de = 1,69. • El índice de capacidad del proceso (El valor de Cp) se mejoró de = 2,95 • Índice de capacidad de rendimiento del proceso (Cpk) se mejoró de = 2,66	“En esta investigación, se implementó el enfoque DMAIC para la mejora de procesos en la industria de neumáticos. Primero, se calculó el índice de capacidad del proceso Cpk del proceso actual, que resultó ser inferior a 1. Por lo tanto, para mejorar el valor del rendimiento del proceso, se determinaron las causas raíz del problema con la ayuda del diagrama de causa y efecto. A partir de los resultados del estudio, se puede concluir que el rendimiento del proceso de una planta de fabricación de neumáticos se puede mejorar significativamente mediante la implementación de la metodología Six Sigma”
11	Guleria, Pathania, Sharma, & Sá.  2022  <b>INDIA</b> )	<b>LEAN SIX SIGMA</b>	Identificación del tipo de desperdicio y reducción de los defectos para eliminar la variación.  Value Stream Mapping - 5S Carta de proyecto - Diagrama SIPOC - Gráfico de Pareto - Diagrama de espina de pescado - Índice de capacidad	<b>Antes</b> • Tasa de rechazo del 10,4 %. • Área taller = 252 m2 • Distancia recorrida por el material = 4050 m • Tiempo de entrega = 12 días • Nivel Sigma = 3,34 <b>Después</b> • Tasa de rechazo = 3,20%. • Área taller = 90 m2 • Distancia recorrida por el material = 809 m • Tiempo de entrega = 11 días • Nivel Sigma = 3,94	La industria estaba perdiendo Rs. 7,33,000/- cada mes debido al rechazo de este eje trasero. Lean Six Sigma fue la herramienta implementada para encontrar y eliminar desperdicios. El mapa del estado actual se elaboró para este producto utilizando datos históricos de tres meses de la industria. Se cambió el diseño del piso de producción para reducir el transporte del producto y administrar el espacio para una mejor utilización. 5S se implementó para que todo sea fácilmente evaluable. Se lograron mejoras drásticas después de la implementación exitosa de Lean Six Sigma”

Fuente: Fuente Propia

Agrupando todas las variables de estudio de los casos estudiados se identifican los siguientes indicadores de desempeño:

**Figura 4. Indicadores de desempeño identificados**



**Fuente:** Fuente Propia

Los once casos presentados tienen una relación o similitud: la adopción de la metodología Six Sigma y aplicación de diferentes herramientas de calidad para la identificación de oportunidades. Las organizaciones que implementan la metodología Six Sigma, por medio de casos aplicados, han entendido que se puede mejorar cualquier proceso dependiendo de la necesidad, principalmente se enfocan en reducir las variaciones de sus procesos, enfocados al aprovechamiento y al buen uso de los recursos, lo que se transforma en una mejor manera de hacer las cosas y en ocasiones representa un crecimiento económico.

#### 4. RESULTADOS

En la revisión de los artículos, se puede comprobar que los resultados en términos de tiempo que arroja la aplicación de la metodología Six Sigma son rápidos, la mayoría de los casos lograron mejorar su proceso en menos de 12 meses y los tiempos de ejecución estuvieron entre 6 y 12 meses. De acuerdo con lo anterior, cabe destacar que el 100% de los casos mejoraron sus procesos.

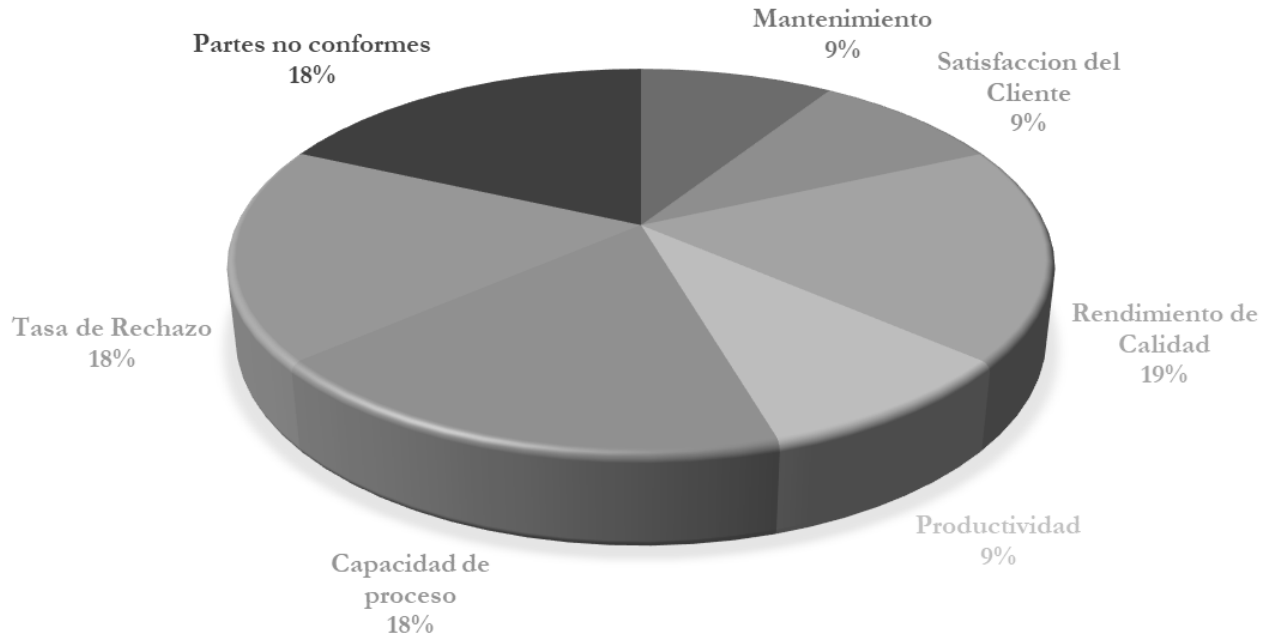
En términos generales se puede evidenciar los siguientes resultados:

- El 18% de los casos presentaron ahorros en unidades monetarias representados en beneficios económicos. Sin embargo, otros dos casos mencionaron ahorros, pero no se cuantificaron en el artículo.
- El 18% de los casos se enfocaron en mejorar la capacidad del proceso (Cp).
- El 9% que equivale a un caso, se enfocó en la identificación de actividades improproductivas.
- Un caso se enfocó en indicadores de mantenimiento con un peso del 9%.
- El 45% de los casos se enfocaron en reducir la cantidad unidades de rechazos / defectos
- El 9% de los casos se enfocó en la satisfacción del cliente
- El 91% de los casos fueron de carácter cuantitativo, tan solo el 9% se desarrollo de manera cualitativa, aunque utilizando herramientas de calidad para determinar grados de satisfacción
- El 80% de los casos se apoyaron en herramientas como (análisis de causa raíz 5 porque, diagramas ishikawa)
- Los diagramas de Pareto se reflejaron en el 60% de los casos estudiados.
- Las herramientas Lean como 5S, VSM, SMED, TPM, Kaizen, entre otras, fueron parte de la hoja de ruta en el desarrollo de los casos estudiados. Estas herramientas aportan directamente a la calidad, a los tiempos de entrega, estandarización y disminución de costes.
- Las herramientas ANOVA y el diseño de los experimentos DOE también intervinieron en el desarrollo de algunos casos, especialmente en el 10% de los casos examinados.

Todos los casos están respaldados por herramientas estadísticas o de calidad para identificar gráficamente las características del proceso que necesitan mejoras. El uso o manejo de los instrumentos es importante, pero la interpretación de los resultados obtenidos y la correcta aplicación son más importantes para la confirmar las desviaciones. En este orden, los datos deben ser precisos como punto de partida para que la aplicación de las diferentes herramientas pueda arrojar resultados confiables.

A continuación, se presenta por medio de una gráfica el porcentaje de participación de cada uno de los indicadores de identificados en los casos revisados:

**Figura 5. Porcentaje de participación de Indicadores de desempeño**



**Fuente:** Fuente Propia

En general, los criterios definidos relevantes para la fabricación de un producto deben hacerse con características en función de los requerimientos del cliente o del desarrollo para el que ha sido propuesto. Las métricas son clave para medir y comparar con éxito los resultados de proyectos y procesos. Esta herramienta nos ayuda a facilitar el desarrollo de una tarea específica para mejorar la eficiencia y confiabilidad del proceso. El 81,5% de los indicadores que se pudieron identificar, participan directamente en el área productiva, el 9% esta asociado a la disponibilidad de los equipos de producción y el 9% restante comprende la satisfacción del cliente. El enfoque Six Sigma está claramente orientado al cliente, pero su trabajo principal se realiza internamente, una especie de introspección de su capacidad para ofrecer productos confiables.

Si bien esta poderosa herramienta se enfoca en la satisfacción del cliente, el 85% de los proyectos han identificado la causa raíz de las desviaciones del proceso para reducir las quejas de los clientes sobre productos defectuosos. La idea principal detrás del uso de esta poderosa herramienta es que las desviaciones se detecten con anticipación para no afectar negativamente la imagen del cliente, lo que significa que las quejas y reacciones generan insatisfacción y confianza en la relación cliente-proveedor.

Un tema interesante para destacar es que el 45,45% de los casos se implementaron en Europa, el 45,45% se implementaron en Asia y el 9,09 se implementaron en África. Considerando lo ultima relación, podemos observar que los continentes de Europa y Asia son fuertes en la adopción de la metodología Six Sigma en las empresas del sector de autopartes. En este orden de ideas no se encontraron casos de aplicación de la metodología en América y Oceanía.

## 5. CONCLUSIONES

Las organizaciones que aplican la metodología Six Sigma y emplean las herramientas de calidad, han comprendido que el impulso del trabajo individual y colectivo permiten generar beneficios en el corto y mediano plazo. Simultáneamente la identificación de las desviaciones por medio de herramientas, también se presenta como un denominador común en los casos mencionados, en particular porque se han adoptado nuevas prácticas en los procesos para la resolución de problemas. Según la literatura, existe una oportunidad frente a los factores críticos de éxito que impiden una correcta implementación las metodologías, cabe mencionar que es importante el compromiso de la alta dirección y la capacitación constante para el logro de los objetivos según sea la estrategia de la compañía.

Ahora bien, es cierto que los casos presentados, tienen diferentes enfoques en la aplicación de la metodología SIX SIGMA, ya que todos tienen una necesidad en particular y es necesario identificar cuáles son los puntos más relevantes para considerarlos como una oportunidad de mejora. Una de las principales variaciones, es la aplicación de diferentes herramientas de calidad, es decir, aunque la metodología Six Sigma se desarrolla teniendo en cuenta la secuencia de la metodología DMAIC, no todas las herramientas de calidad que están inmersas en esta metodología son aplicables en los casos presentados. Lo anterior, porque se manejan diferentes criterios dependiendo de la necesidad de la compañía.

Por ende, todos los casos inician con un objetivo o una necesidad puntual (que no necesariamente es un problema en común para todos los casos) pero si con una idea general que consiste en la reducción de variaciones de cada proceso con el fin de lograr una oportunidad de mejora, por lo que, es necesario establecer lineamientos a los integrantes del cada equipo, sobre cómo hacer la debida aplicación de la metodología, para que se pueda introducir el conocimiento y trabajar en pro de la mejora de los procesos, es decir, siempre enfocados en la voz del cliente (interno y externo) con el fin de garantizar que la calidad de los productos excedan las expectativas.

La industria Automotriz tiene como actividad el ensamble de partes automotrices que tienen como producto final un vehículo que se debe garantizar la seguridad de las personas que lo adquieren, por lo tanto, este proceso debe ser detallado: con mínimos márgenes de error, con total precisión y altos estándares de calidad. Esta industria debe contar con aliados estratégicos y/o proveedores de autopartes que se adapten a las exigencias de calidad y que cuenten con métodos que aporten al pleno desarrollo de producto, dicho de otra manera, que cumplan con las altas exigencias de los mercados, por lo tanto, es importante contar con aliados que agreguen valor y que aporten a la mejora sustancial de las principales causas que afectan los procesos productivos de este sector.

La metodología Six Sigma se enfoca en el cliente (interno / externo), es totalmente impulsada por lo datos para resolver una necesidad específica, sin embargo, su ejecución debe ser altamente disciplinada para desarrollar y entregar productos y servicios casi perfectos, por lo tanto, si se aplica de manera correcta, permite identificar de forma asertiva todas las causas principales y desviaciones que afectan los procesos productivos, permitiendo establecer propuestas de mejora mediante la aplicación de herramientas calidad, estadísticas y/o modelos matemáticos (diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa, análisis de datos, control de calidad, ciclo DMAIC, entre otros.) que permiten la cuantificación de estos problemas para solucionarlos de forma eficiente y efectiva en el corto plazo, adoptando buenas prácticas que perduren a lo largo del tiempo y permitiendo que las organizaciones tengan unos parámetros de análisis efectivos en cuanto a su ejecución y recursos productivos; lo anterior, en búsqueda de un impacto positivo y crecimiento mediante la aplicación de la metodología Six Sigma.

No obstante, un proyecto de implementación aplicando la metodología Six Sigma debe estar compuesto por un equipo especializado en el manejo de los métodos y las herramientas de Six Sigma (Alhuraish, Robledo, & Kobi, 2017). La implementación de la metodología Six Sigma requiere que los empleados tengan las habilidades estadísticas descritas anteriormente para ver los datos obtenidos del análisis de procesos, particularmente la capacidad de interpretar lo que

sucede en el proceso (Alhuraish et al., 2017).

Los casos revisados a detalle se realizaron en principales industrias de cada región, lo que demuestra que las grandes empresas ven grandes ventajas en la aplicación de la metodología para el control de las desviaciones en búsqueda de la generación de ahorros. Entre la implementación de la metodología Six Sigma se han identificado principalmente aspectos positivos, pero se pueden determinar de manera cualitativa algunos aspectos negativos que pueden impactar el desarrollo de los proyectos dependiendo de la compañía donde se aplique. Se realiza tabulación de los aspectos de manera aleatoria:

**Tabla 6. Impactos positivos y negativos de la implementación de la metodología Six Sigma**

<b>Positivos (+)</b>	<b>Negativos (-)</b>
Promueve la cultura organizacional	Resultados no menores a 4 meses (otras herramientas lean ofrecen resultados en un menor tiempo). Es probable que los resultados no se obtengan en el tiempo planeado
Impulsa mejora continua	Es importante que los empleados posean ciertas habilidades. No aplicable a empleados sin conocimientos estadísticos
Evitar la repetibilidad de las desviaciones detectadas	Si no se establecen controles adecuados, es posible que las desviaciones se puedan volver a presentar
Metodología detallada para la resolución de problemas	-----
Establece un alto nivel de confianza cliente proveedor.	-----
En general la pérdida de tiempo, la detección de unidades defectuosas y evitar pérdidas por retrabajo, se traducirán en ahorros de dinero	-----
Eleva el potencial del recurso humano	-----

**Fuente:** Fuente Propia

Actualmente no hay evidencia de que las pequeñas empresas hayan estado involucradas en el desarrollo de proyectos Six Sigma, al menos no en los casos analizados de este artículo, en este contexto, las grandes empresas envían una señal clara a las pequeñas empresas, indicándoles el camino o ruta que deben seguir para desarrollar y fortalecer las estrategias corporativas, por lo que es importante asegurar los procesos de aprendizaje y el tiempo para desarrollar y aplicar las mejores prácticas en la gestión de la producción aplicando los métodos ya existentes, que requieren ser promovidas por la alta dirección en cualquier negocio, cualquier industria, ya sea de servicios o de fabricación.

En cierto sentido, el uso de ciertas herramientas y metodologías estadísticas se convierte en un aspecto importante desde el punto de vista de la teoría social, la formación para el desarrollo de las industrias en busca de un entorno económico sostenible que permita el desarrollo de productos eficientes a un menor costo con ciclos de vida cerrados<sup>18</sup>. Es importante que las empresas en crecimiento apunten a programas que respalden o contribuyan a la mejora de sus procesos, desde la reducción de desechos hasta la disminución del costo de productos, lo que se refleja en una mejor utilización de servicios esenciales como energía, agua, gas, entre otros.

El hecho de que no se hayan encontrado casos de aplicación de la metodología Six Sigma en América y Oceanía no significa que no existan, por el contrario, es posible que desde el inicio de la investigación no arrojaran resultados en la

<sup>18</sup> Ciclo cerrado: se diferencia de los métodos tradicionales de producción más limpia o reciclaje, donde los desechos se utilizan como materia prima, lo que resulta en un menor valor agregado del producto y/o reutilización (Produccion en ciclo cerrado en las americas, 2015)

búsqueda de bases de datos específicas que tal vez no concentraban literatura profesional de estas regiones. Cabe destacar que no estamos hablando de reducir estas regiones, es probable que las regiones de Europa y Asia están a la vanguardia en la aplicación de metodologías Six Sigma, entendiendo que los artículos sugeridos mostraban tendencia hacia las regiones de ese hemisferio.

Las industrias latinoamericanas tienen un gran margen para adoptar las metodologías existentes, pero esto requiere profesionales y líderes que tengan plena confianza en su aplicación para buscar la mejora y el crecimiento continuo del negocio lo que impactaría directamente en el desarrollo de la región. Este es un gran paso que han dado las industrias grandes y los países altamente industrializados de Europa y Asia que generan riquezas por medio de los sectores manufactureros y que tal vez desde sus inicios se equivocaron, pero pudieron enderezar el camino para obtener productos de alta calidad a un menor costo. Esto significa que América puede aprender de los errores de estas industrias y apreciar lo que podrían lograr si las industrias adoptaran desde el principio metodologías que contribuyan significativamente al entorno de producción y a la sociedad en general; convirtiéndose en el diferenciador y porque no en modelo para desarrollar de manera libre y acertada este tipo de prácticas.

En el desarrollo del trabajo se encuentra un vacío en términos de impacto ambiental con relación a la aplicación de la metodología Six Sigma, se puede observar que se ha encontrado alguna literatura asociada a reprocesos, rechazos y a mejorar la eficiencia en la productividad, pero no hay documentación que hable sobre los posibles efectos ambientales; si bien se da a entender que cuando se mencionan reproceso y rechazos se está haciendo uso correcto de los recursos, los beneficios ambientales que pueden derivarse de este tipo de enfoque no están directamente relacionados, por lo tanto, son irrelevantes en tales casos ya que no se cuantificaron los beneficios y pérdidas en términos de impactos ambientales. Es imperativo que la industria, el gobierno y los nuevos profesionales tengan una parte integral para adoptar y desarrollar nuevos diseños en cada región del mundo, independientemente si están regulados o no, para funcionar integralmente en beneficio de nuestro medio ambiente. A partir de ahí, hace una contribución significativa a cambiar prácticas de la industria, que vayan más allá de un cumplimiento mínimo de las leyes ambientales de cada región.

En conclusión, la metodología Six Sigma permite identificar a detalle donde hay oportunidades, bien sea por causas de las reclamaciones y/o desperdicios que se evidencian a simple vista; así pues, la aplicación correcta de la metodología, reflejara un aprovechamiento de los recursos en las empresas en términos de materiales (desperdicios, porcentaje de utilización Materia Prima) tiempo (disminución o eliminación de tiempos muertos, disminución o eliminación tiempos en reprocesos) utilities (agua, energía, gas) calidad (niveles de satisfacción de clientes) recurso humano (capacitación de personal) y principalmente asegurando que los resultados del proceso, cumplan y superen las expectativas de los clientes (internos y externos).

## 6. REFERENCIAS

- Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors. *Journal of Cleaner Production* 164, 325 - 337.
- ANDI. (17 de 05 de 2022). *Asociación Nacional de Empresarios de Colombia*. Obtenido de Asociación Nacional de Empresarios de Colombia: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/4-automotriz>
- Arumugam, V., Antony, J., & Linderman, K. (2016). The influence of challenging goals and structured method on Six Sigma project performance: A mediated moderation analysis. *European Journal of Operational Research* 254, 202 - 213.
- Barbosaa, B., Pereira, M., Silva, F., & Campilho, R. (2017). Solving quality problems in tyre production preparation process: a practical approach. *Procedia Manufacturing* 11, 1239 – 1246.
- Beltran Moreno, R., De León de la Ossa, E. C., & Olano, M. (2016). Propuesta de mejoramiento para los procesos de Litoprint S.A. implementando BSC y Lean Six Sigma. *Propuesta de mejoramiento para los procesos de Litoprint S.A. implementando BSC y Lean Six Sigma*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota.
- Benavides, A., & Masso Alzate, J. A. (2019). Caracterización del grado de implementación de metodologías de mejora de calidad y productividad en empresas manufactureras de la ciudad de Cali. *Caracterización del grado de implementación de metodologías de mejora de calidad y productividad en empresas manufactureras de la ciudad de Cali*. Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (Tercera edición ed.). Bogota: PEARSON EDUCACIÓN.
- Bolaños Salas , J. F., Campo Banguero, C., & Ramírez Muñoz, J. I. (2019). Aplicación de Lean Manufacturing en la industria automotriz. *Aplicación de Lean Manufacturing en la industria automotriz*. Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali.
- Cohen, A., Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2020). A statistical analysis of critical quality tools and companies' performance. *Journal of Cleaner Production* 255, 120-221.
- Costa, J., Lopes, I., & Brito, J. (2019). Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. *Procedia Manufacturing* 38, 1592–1599.
- Costa, T., Silva, F., & Pinto Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing* 13 , 1104–1111.
- Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofo, K., Maladzhi, R., & Kana-Kana Katumba, M. G. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Helijon* 8, e09043.
- Deeb, S., El Haouzi, H. B., Aubry, A., & Dassisti, M. (2018). A generic framework to support the implementation of six sigma approach in SMEs. *IFAC PapersOnLine* 51-11, 921–926.
- Erdogan, A., & Canatan, H. (2015). Literature Search Consisting of the Areas of Six Sigma's Usage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195, 695 – 704.
- Gallego Urrea, S. N., & Garcia Jiménez, J. C. (2019). Propuesta de implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café tostado y molido. *Propuesta de implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café tostado y molido*. Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali.
- Gammea, I., & Lodgaard, E. (2019). Organizational or system boundaries; possible threats to continuous improvement process. *Procedia CIRP* 79, 505 - 510.
- García, J., & Silva Ruiz, M. A. (2019). Análisis de costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en

variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019. *Análisis de costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019*. Universidad Santiago de Cali, Santiago de Cali.

- Gleeson, F., Coughlan, P., Goodman, L., Newell, A., & Hargaden, V. (2019). Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean six sigma methods. *Procedia CIRP* 81, 641-646.
- Goyal, A., Agrawal, R., & Saha, C. (2019). Quality management for sustainable manufacturing Moving from number to impact of defects. *Journal of Cleaner Production*, 118-348.
- Guleria, P., Pathania, A., Sharma, S., & Sá, J. C. (2022). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings* 50, 50, 1739-1746. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.177>
- Gupta, V., Jain, R., Meena, M. L., & Dangayach, G. S. (2018). Six-sigma application in tire-manufacturing company: a case study. *Journal of Industrial Engineering International*, 511-520. doi:<https://doi.org/10.1007/s40092-017-0234-6>
- Hoem, O., & Lodgaard, E. (2016). Model for supporting lasting managerial efforts in continuous improvement: A case study in product engineering. *Procedia CIRP* 50, 38 - 43.
- Kharub, M., Ruchitha, B., Hariharan, S., & Vamsi, N. S. (2022). Profit enhancement for small, medium scale enterprises using Lean Six Sigma. *Materials Today: Proceedings* 56, 2591–2595.
- Khavkar, R., Vasudevan, D., & Deshpande, G. (2018). Application Of Shainin Methodology To Reduce Rejections In Spur Gear Manufacturing. *Materials Today: Proceedings* 5, 12003–12008 .
- Krishna Priya, S., Jayakumar, V., & Suresh Kumar, S. (2019). Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line. *Materials Today: Proceedings*, 2214-7853.
- Kumar, A., Singh, K., Singh, K., Thakur, K., Singh, H., & Singh, J. (2022). Product performance optimization in an automotive manufacturing plant using shainin DOE tools: A case study. *Materials Today: Proceedings* 50, 1679–1682.
- Lomte, R., Bhosle, S., Ambad, P., & Gaikwad, R. (2018). Reliability Improvement for TSR Machine of Banbury Mixer using Plant Optimization Process. *Procedia Manufacturing* 20, 440-445.
- Mayur Mahajan, Kezia Bindu, C., Harshan, & Shiva Prasad, H. (2019). Implementation of Lean techniques for Sustainable workflow process in Indian motor manufacturing unit. *Procedia Manufacturing* 35, 1196–1204.
- MINEDUCACION. (23 de 05 de 2022). *MINISTERIO DE EDUCACION*. Obtenido de MINISTERIO DE EDUCACION: [https://www.mineducacion.gov.co/1780/w3-article-299734.html?\\_noredirect=1](https://www.mineducacion.gov.co/1780/w3-article-299734.html?_noredirect=1)
- Pereira , M., Bento, M. I., Ferreira, L., Sá, J., & Silva, F. (2019). Using Six Sigma to analyse Customer Satisfaction at the product design and development stage. *Procedia Manufacturing* 38, 1608–1614.
- Pugna , A., Negrea, R., & Miclea, S. (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 221, 308 - 316.
- Produccion en ciclo cerrado en las americas. (01 de Abril de 2015). [http://www.oas.org/es/sedi/dsd/energia/ciclocerrado/panama/evento\\_pan/sobre\\_el\\_programa\\_final\\_pan\\_091514.pdf](http://www.oas.org/es/sedi/dsd/energia/ciclocerrado/panama/evento_pan/sobre_el_programa_final_pan_091514.pdf). Recuperado el 29 de Agosto de 2022, de [http://www.oas.org/es/sedi/dsd/energia/ciclocerrado/panama/evento\\_pan/sobre\\_el\\_programa\\_final\\_pan\\_091514.pdf](http://www.oas.org/es/sedi/dsd/energia/ciclocerrado/panama/evento_pan/sobre_el_programa_final_pan_091514.pdf): <https://cutt.ly/rX7GoGu>.
- Raniprasad, P., Jiju , A., & Gijo, E. (2018). Lean Six Sigma approach in an Indian auto ancillary conglomerate: a case study. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*, 29, 761-772.
- Rathi, R., Singh, M., Singh Gurjar, R., Kumar Verma, A., Singh, A., & Samantha, B. (2022). Identification of Lean Six

- Sigma barriers in automobile part manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings* 50, 728-735.
- Rodriguez , F. (2015). Six Sigma in a computer service company. *Entre Ciencia e Ingeniería Vol 9 No. 17*, 56 - 61.
- Sengottuvelan, M., Sivakumar, K., & Nandagopal, M. (2018). Study on Cold Metal defect in Pump Mounting Flange using Taguchi Approach. *Materials Today: Proceedings* 5, 25212–25218.
- Shivajee, V., Singh, R., & Rastogi , S. (2019). Manufacturing conversion cost reduction using quality control tools and digitization of real-time data. *Journal of Cleaner Production* 237, 117-678.
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 238, 590 - 596.
- Tinoco, R., Bermea, E., Gamboa, F., & Rubio, B. (Octubre de 2017). Caso de estudio: Lacteos industrializados del Noreste. *Revista Iberoamericana de Ciencias, Vol. 4* (No. 5 ), 98-107.

## ANEXOS

## ANÁLISIS DE ANTECEDENTES - ANEXO A

No.	Referencia Autor - Fecha	Título	Objetivo	Metodología Estudiada	Principales Contribuciones
1	(Benavides & Masso Alzate, 2019)	“Caracterización del grado de implementación de metodologías de mejora de calidad y productividad en empresas manufactureras de la ciudad de Cali”	“Estudio cualitativo desarrollado a través de una encuesta en la cual se plasman diferentes factores que revelan información relacionada con respecto a metodologías	Estudio cualitativo a través Encuestas	“De las once empresas evaluadas y/o encuestadas se obtuvieron los siguientes resultados en porcentajes de adopción de metodologías de mejora: <b>5s</b> <sup>19</sup> El 63%, <b>Kanban</b> 46%, <b>Justo a tiempo</b> 45%, <b>SMED</b> <sup>20</sup> 18%, <b>Celdas de Manufactura</b> 9%, <b>Andon</b> 27%, <b>TPM</b> <sup>21</sup> 45%, <b>Estandarización de trabajos</b> 82%, <b>VSM</b> <sup>22</sup> 9%, <b>Heijunka</b> 0%, <b>Kaizen</b> 72%, <b>Poka-Yoke</b> 27%, <b>Six Sigma</b> 9% y <b>Gestión de la Calidad Total</b> 54%”. “Los resultados obtenidos muestran que hay nivel medianamente bajo en cuanto a la adopción de las metodologías abordadas.” En lo que refiere a la adopción de la metodología Six Sigma, es bajo el % de adopción en las empresas encuestadas, por lo que se puede decir que se requiere un compromiso de la alta dirección y el involucramiento en la estratégica de cada compañía para que la metodología sea implementada.
2	(Bolaños Salas, Campo Banguero, & Ramírez Muñoz, 2019)	“Aplicación de Lean Manufacturing, en la industria automotriz”	“Analizar la implementación de la metodología Lean Manufacturing de las empresas en el sector automotriz para la mejora de sus procesos”.	“Investigación descriptiva Lean Manufacturing	“Se realizo revisión de cinco casos de estudio y en todas se logró evidenciar un resultado positivo de la implementación en las metodologías de mejora, se citan algunos de los resultados en los casos de estudio: En el caso 1 aplicaron VSM, SMED y 5s obteniendo reducción en tiempos de detección por al menos el 58.3 %. En el caso 2 la implementación de la filosofía Lean Manufacturing logro aumento en la producción de un 15%. En el caso 3 con la implementación de VSM se logró una efectividad de la producción para aumentar un 66.7%”. Se puede observar el impacto positivo que tiene la industrias al incorporar las metodologías de mejora, por lo que el estudio determino la relevancia de estas en la aplicación de las metodologías. Cabe resaltar que el estudio hace referencia al cambio en los métodos de trabajo que implícitamente debe incentivar la alta dirección para que el cambio de cultura sea redireccionado a toda la compañía.
3	(Gallego Urrea & Garcia Jiménez, 2019)	“Propuesta de implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café tostado y molido”	“Caracterización de variables (TQM, “Total Quality Management”), proponer una implementación de la metodología Seis Sigma al proceso de producción del café tostado y molido en Colombia	Estructura del diagrama SIPOC <sup>23</sup> / Six Sigma	El estudio permite identificar las características, variables y parámetros específicos en la (siembra y cosecha) que se deben tener en cuenta para la implementación de la metodología Six Sigma y como esta llegara a impactar en el proceso de producción de café. “Teniendo en cuenta que no todas las variables caracterizadas pueden ser aplicadas en las mismas condiciones de producción, se debe tener claro el entorno en el que se encuentra, y a partir de este, determinar los factores que no se pueden controlar, con el fin de adaptarse a los mismos, para lograr un café tostado y molido de alta calidad. La investigación evidenció que la implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción del café, es muy necesaria, por ser considerado uno de los productos más comercializados en el mundo”. “Según el autor, se encontraron limitaciones al momento de realización de la investigación, como la falta de información científica de implementaciones de Six Sigma en el proceso de producción del café en las diferentes bases de datos consultadas”.

<sup>19</sup> 5's: Metodología japonesa: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke (Mintzberg, 1980)

<sup>20</sup> SMED: Single-Minute Exchange of Die.

<sup>21</sup> TPM: Total Productive Maintenance.

<sup>22</sup> VSM: Value Stream Mapping.

<sup>23</sup> SIPOC: Supplier - Inputs - Process- Outputs – Customers.

No.	Referencia Autor – Fecha	Título	Objetivo	Metodología Estudiada	Principales Contribuciones
4	(García & Silva Ruiz, 2019)	“Análisis de costos para una implementación de metodología Six Sigma con base en variables de calidad total (TQM) <sup>24</sup> en el proceso de extracción de petróleo en Colombia para el año 2019”	Analizar los costos para una implementación de metodología Six Sigma	Revisión documental	<p>“El estudio se basó en datos suministrados por Ecopetrol y determino que con la aplicación de la metodología Six Sigma se disminuyen los tiempos para encontrar un yacimiento de petróleo, normalmente se requería un tiempo de 4 meses y se logró reducir a 1,2 meses, equivalente a una reducción en tiempos de ejecución en mano de obra. Lo anterior incide directamente en los costos del producto por la disminución de mano de obra y utilización de maquinaria. El costo anual de implementar la metodología en términos generales es de \$43.8M con personal dedicado a la ejecución de esta.</p> <p>Según la información de los autores, se comprende que por pozo de petróleo abierto se requiere una cantidad total de dinero para cubrir los costos de aplicación de Six Sigma de \$548'466.605 anual, se reconoce que la cantidad de beneficios en reducción de costos adyacentes al proceso de extracción es mucho mayor ocurriendo entonces una ventaja para la explotación”.</p>
5	(Kharub, Ruchitha, Hariharan, & Vamsi, 2022)	“Aumento de beneficios para pequeñas y medianas empresas utilizando Lean Six Sigma”	“Identificar los cuellos de botella en una industria para tratar de eliminarlos”	DMAIC	<p>“Se seleccionó como estudio de caso una empresa de fabricación de zumos de frutas en la India, que había estado sufriendo un despilfarro colosal. Aplicando la metodología (DMAIC), por medio del mapeo de flujo de valor (VSM) y diagrama de causa y efecto. Los resultados del estudio sugirieron que los desechos se pueden reducir hasta en un 50%. En consecuencia, el beneficio aumenta un 7% si la empresa actúa por recomendación”.</p> <p>Con este estudio el autor pretende abrir las puertas para muchos proyectos de este tipo que consideren la reducción de desperdicios los cuales se reflejaran en términos costos para la compañía en la cual se requiera implementar las diferentes metodologías que aportan directamente en la mejora continua.</p>
6	(Rathi, y otros, 2022)	“Identificación de barreras Lean Six Sigma en la industria de fabricación de autopartes”	“Identificar los distintos tipos de barreras a las que se enfrenta una empresa de fabricación de componentes de automoción cuando intenta introducir técnicas Lean Six Sigma”	Revisión sistemática de literatura	<p>“Inicialmente, se seleccionaron 31 Barreras Lean Six Sigma a través de una revisión exhaustiva de la literatura que se llevó a cabo mediante una encuesta. En la encuesta del cuestionario, las opiniones del gerente se recopilaban con la ayuda de correos electrónicos en línea. Las respuestas recopiladas se analizaron a través de herramientas estadísticas como Importance-indexed y CIMTC. La consistencia interna de las respuestas recopiladas fue 0,971, lo cual es bueno y los resultados dan un índice de importancia para determinar el análisis. Por medio de un diagrama de cluster se pudieron identificar las 17 barreras que más inciden en la aplicación de la metodología Lean Six Sigma”. Además, el estudio concluyó sobre la base del índice de importancia descriptivo anterior, indican que la mayoría de las empresas manufactureras indias enfrentaban los desafíos las barreras 3 y 4 (3. Supervisión insuficiente por parte de los gerentes de línea y 4. Defectos y costos y desperdicios de satisfacción del cliente) son las más barreras importantes tenidas en cuenta para la implementación exitosa del sistema LSS en diferentes centros de fabricación de piezas de automóviles. Los autores han investigado las barreras que enfrentan las industrias automotrices para fabricar una unidad y también continuar indagando sobre la metodología lean Six Sigma; sin embargo, la literatura se limita a explorar los estudios sobre las industrias de fabricación de piezas que son responsables de muchas piezas únicas de las unidades automotrices.</p>

<sup>24</sup> TQM: Total Quality Management

No.	Referencia Autor – Fecha	Título	Objetivo	Metodología Estudiada	Principales Hallazgos
7	(Kumar, y otros, 2022)	“Optimización del rendimiento del producto en una planta de fabricación de automóviles con herramientas DOE Shainin: un estudio de caso”	“Reducir la variación del proceso para identificar la causa raíz del desplazamiento del guardabarros trasero en la línea de montaje de motocicletas”	Shainin DMAIC	“Por medio de la aplicación de la metodología DMAIC de manera secuencial y la intervención de herramientas como el diagrama de Pareto, causa y efecto, se lograron identificar las principales variaciones en el proceso de instalación de guardabarros traseros de las motocicletas, teniendo como principal factor, el desplazamiento del La investigación experimental revela que el exceso de espacio libre (0,5 mm) entre el perno y el tamaño del orificio del soporte es la causa raíz de la parte trasera desplazamiento del guardabarros. La distancia de desplazamiento promedio se reduce de 0,34 mm a 0,15 mm introduciendo una tuerca en el soporte. Después de fijar una tuerca, también se resuelve el problema del guardabarros suelto. El 55,3 % total (34 % de desplazamiento del guardabarros trasero y 21,3 % de guardabarros suelto) del rechazo en el punto de montaje es reducido”.
8	(Beltrán Moreno, De León de la Ossa, & Olano, 2016)	“Propuesta de mejoramiento para los procesos de Litoprint S.A. implementando BSC y Lean Six Sigma”	“Gestionar y mejorar el proceso de fabricación de cajas plegadizas sin acabados especiales alineado con la estrategia de bajo costo de Litoprint S.A.”	PHVA <sup>25</sup> BSC <sup>26</sup> Lean Six Sigma (VSM)	“La aplicación de estas herramientas y la medición de su efectividad se realizó en una línea piloto de producción diseñada con los procesos requeridos para fabricar cajas plegadizas sin acabados especiales, ya que este tipo de producto es el Pareto del portafolio de la compañía con un 79,7% de participación. La implementación del proyecto en la línea piloto generó los suficientes beneficios económicos y ambientales siendo viable su réplica en los demás equipos de la compañía para cubrir el 100% de los procesos y de los productos. A continuación, se mencionarán algunos de los resultados obtenidos con la aplicación de las diferentes herramientas: <b>Nivel sigma</b> de 3,8 a 4,0, <b>BSC</b> como herramienta de gestión permitió definir objetivos y metas en las diferentes áreas de la empresa. La perspectiva financiera es la de más fácil seguimiento y control ya que obtiene la información del software contable y el <b>VSM</b> propuesto un tiempo de ciclo de materiales de 38,92 horas con una mejoría del 14,53%”.

Fuente: Fuente propia

<sup>25</sup> PHVA: Planear – Hacer – Verificar – Actuar

<sup>26</sup> BSC: Balanced Score Card