DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 64-71

Estrategia de integración: Lean, PDCA y DMAIC en procesos manufactureros
Integration strategy: Lean, PDCA, DMAIC in manufacturing processes

K.L. Avilés-Coyoli[a], J. Garnica-González[b, *], J.P Muñoz-Chávez[c], E. Martínez-Muñoz[b]

[a] *Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México Campus Pachuca, Pachuca, Hidalgo, México.*
[b] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*
[c] *Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México, Tizayuca, Hidalgo, México.*

Resumen

La optimización de procesos industriales es una estrategia que fortalece la productividad, calidad y eficiencia operativa en las organizaciones manufactureras. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de la aplicación integrada de las herramientas Lean, PDCA y DMAIC en la reducción de ineficiencias operativas y la estabilización de procesos productivos. Se analizaron comparativamente dos intervenciones aplicadas en empresas del sector manufacturero. La investigación fue con enfoque cuantitativo-descriptivo y alcance comparativo. Se emplearon técnicas como observación directa, estudio de tiempos, análisis de causa raíz, diagrama de Pareto e indicadores de desempeño. En el primer caso, el tiempo promedio de carga de información técnica se redujo de 2.5 a 1 hora diaria. En el segundo caso la estandarización del proceso de atornillado redujo los ensambles rechazados del 14.8% al 3.2% y disminuyó el tiempo de ciclo en 19.1%. Al integrar herramientas como Lean, PDCA y DMAIC se estabilizan y fortalecen los procesos productivos logrando operaciones más eficientes, estables, sostenibles y competitivas.

Palabras Clave: Optimización de procesos, Lean Manufacturing, DMAIC, mejora continua, sostenibilidad operativa.

Abstract

Industrial process optimization is a strategy that strengthens productivity, quality, and operational efficiency in manufacturing organizations. The objective of this study is to evaluate the impact of the integrated application of Lean, PDCA, and DMAIC tools on reducing operational inefficiencies and stabilizing production processes. A comparative analysis was conducted on two interventions applied in manufacturing sector companies. The research had a quantitative-descriptive focus and a comparative scope. Techniques such as direct observation, time study, root cause analysis, Pareto diagram, and performance indicators were employed. In the first case, the average time to load technical information was reduced from 2.5 to 1 hour daily. In the second case, standardizing the screwing process reduced rejected assemblies from 14.8% to 3.2% and decreased cycle time by 19.1%. Integrating tools such as Lean, PDCA, and DMAIC stabilizes and strengthens production processes, achieving more efficient, stable, sustainable, and competitive operations.

Keywords: Process optimization, Lean Manufacturing, DMAIC, continuous improvement, operational sustainability.

1. Introducción

La industria manufacturera requiere continuamente mejorar su desempeño operativo y calidad, buscando conservar la sostenibilidad en sus procesos, por lo que la optimización de procesos se ha consolidado como estrategia clave para disminuir desperdicios, tiempos improductivos, defectos, así como la variabilidad, estos elementos inciden de manera directa en la productividad y competitividad de las organizaciones. Enfoques como la manufactura esbelta, el ciclo PDCA y la metodología DMAIC, son utilizados para el análisis de procesos, identificación de causas raíz, implementación de mejoras e indicadores de desempeño que son diseñados con el fin de sostener los resultados a través del tiempo (Panigrahi et al., 2023).

La cada vez mayor competencia global, la constante presión por reducir costos, así como el responder de manera ágil a las fluctuaciones en los mercados, han orillado a las organizaciones manufactureras a reconfigurar continuamente sus sistemas productivos. Por lo anterior al referirse a la mejora continua se busca no solo el incremento de la productividad, sino la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de

*Autor para la correspondencia: jgarnica@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: katia.ac@pachuca.tecnm.mx (Katia Lorena Avilés Coyoli), jgarnica@uaeh.edu.mx (Jaime Garnica González), p.munoz@utvam.edu.mx (Juana Patricia Muñoz Chávez), emmunoz@uaeh.edu.mx (Enrique Martínez Muñoz)
Historial del manuscrito: recibido el 08/06/2026, última versión-revisada recibida el 31/08/2026, aceptado el 07/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18111

desperdicios, y sostenibilidad en las operaciones (Tortorella et al., 2021; Panigrahi et al., 2023). Diversos autores sostienen que las organizaciones que son capaces de integrar estrategias de mejora con mecanismos de control y evaluación sistémica, son capaces de lograr mayores niveles de desempeño, resiliencia en la organización y adaptabilidad en entornos dinámicos.

Por otra parte, Lean Manufacturing y la metodología Six Sigma son ampliamente reconocidas como enfoques complementarios para la optimización de procesos. De acuerdo con Shah y Ward (2007), Lean se ocupa de eliminar actividades que no agregan valor al proceso o producto y en mejorar el flujo del trabajo, para Antony et al. (2017), Six Sigma busca reducir la variabilidad y controlar las causas que generan defectos utilizando herramientas estadísticas y metodológicas, por lo que la integración de herramientas Lean con metodologías como PDCA y DMAIC hace posible abordar los problemas operativos con una perspectiva sistémica, facilitando la identificación de oportunidades de mejora, la reducción de desperdicios y la consolidación de resultados sostenibles en el tiempo.

En la literatura se han documentado diversas intervenciones acerca de la utilización de manera individual de herramientas de mejora continua, por el contrario son menos frecuentes los estudios que analizan experiencias aplicadas en organizaciones manufactureras para comprender de qué manera la integración de diversas metodologías contribuye a estabilizar procesos, reducir desperdicios, optimizar recursos y por ende fortalecer la sostenibilidad operativa en las organizaciones (Buer et al., 2021; Antony et al., 2023), dado que la optimización en las industrias manufactureras no solo debe enfocarse en el principio de producir más con menos sino también en garantizar la permanencia y estabilidad de los resultados obtenidos a través del tiempo.

Desde esta perspectiva, el analizar casos reales de intervención es una oportunidad para generar evidencia empírica acerca de la efectividad que tienen los enfoques de mejora continua en ámbitos productivos específicos, permitiendo también la identificación de elementos comunes que favorecen la consolidación de prácticas operativas más eficientes y sostenibles, aportando conocimiento útil a la comunidad académica y a las organizaciones que se interesen en fortalecer su competitividad por medio de la optimización de procesos (Deepak et al., 2025; Adeodu et al., 2021).

Con base en lo anterior, este estudio analiza comparativamente dos intervenciones realizadas en organizaciones del sector manufacturero con el objetivo de evaluar de qué manera la aplicación integrada de herramientas Lean, PDCA y DMAIC contribuyeron a la mejora del desempeño operativo y al fortalecimiento de procesos más eficientes y sostenibles.

2. Marco Teórico

2.1 Lean Manufacturing

Es un enfoque de gestión para la identificación y eliminación sistemática de actividades que no agregan valor a los procesos productivos, tiene el propósito de incrementar la eficiencia operativa, mejorar la calidad, así como la optimización del uso de recursos. Se originó en el sistema de producción Toyota como parte de una filosofía enfocada en la mejora continua, la reducción de desperdicios buscando así generar valor al cliente (Womack & Jones, 2003; Shah & Ward, 2007).

Lean Manufacturing es una filosofía organizacional para mejorar el flujo de trabajo a través de la eliminación de aquellas actividades que consumen recursos y no agregan valor alguno para el cliente. Para Shah y Ward (2007), aquellas organizaciones que implementan este tipo de prácticas sistemáticamente, desarrollan procesos más estables, flexibles y eficientes logrando fortalecer su capacidad de respuesta a los cambios del entorno.

La evolución de Lean Manufacturing con el paso del tiempo ha consistido en que de ser una metodología centrada en la reducción de costos y desperdicios, ahora es una manera integral de contribuir al desempeño de toda la organización y la sostenibilidad operativa. Diversas investigaciones han documentado que la adopción de este tipo de prácticas favorece de manera significativa la mejora de indicadores de productividad, calidad, flexibilidad y desempeño empresarial (Panigrahi et al., 2023).

Las organizaciones que implementan este tipo de herramientas logran utilizar mejor los recursos, disminuyen tiempos improductivos, así como una mayor capacidad de adaptación ante entornos competitivos y dinámicos (Tortorella et al., 2021; Netland, 2016).

En cuanto a la Industria 4.0 Lean Manufacturing mantiene una estrecha relación con la transformación digital ya que la combinación entre la digitalización y las prácticas Lean genera efectos complementarios que fortalecen el desempeño operativo facilitando la toma de decisiones basada en datos (Buer et al., 2021).

De acuerdo con Pierli et al. (2025), la integración de Lean con estrategias de sostenibilidad propicia de manera simultánea mejoras económicas, ambientales y operativas. Es por lo anterior que Lean Manufacturing continúa siendo una de las estrategias más utilizadas por las organizaciones manufactureras para incrementar su competitividad (Netland, 2016).

2.2 Ciclo de mejora continua PDCA

Es conocido también como el ciclo Plan-Do-Check-Act o ciclo Deming, y constituye un modelo ampliamente utilizado para la gestión y mejora continua de procesos. Como parte de su fundamento se encuentra la ejecución de cuatro etapas de manera sistemática que consisten en la planificación de acciones, la implementación de mejoras, la verificación de resultados y la estandarización o ajuste de las acciones emprendidas (Deming, 1986).

El ciclo PDCA tiene como principal fortaleza el proporcionar una estructura metodológica sencilla y flexible para solucionar problemas, favoreciendo en las organizaciones el desarrollo de procesos de aprendizaje continuo y una retroalimentación de manera permanente. Moen y Norman (2010) señalan que la evolución de este enfoque desde sus planteamientos iniciales lo ha convertido en una de las bases conceptuales más utilizadas para la mejora continua en sistemas de gestión y productivos.

El ciclo PDCA además de facilitar la identificación de oportunidades de mejora también contribuye en sostener los resultados alcanzados con mecanismos de seguimiento, evaluación y control. Su aplicación permite que las mejoras realizadas sean verificadas objetivamente antes de su estandarización, disminuyendo el riesgo de reincidencias en problemas y fortaleciendo la estabilidad operativa de los procesos.

En el sector manufacturero, la aplicación del ciclo PDCA ha demostrado ser útil en la reducción de variaciones, fortalecimiento de la estabilidad de los procesos y la promoción de una cultura en las organizaciones orientada al desempeño sostenible. Para Antony et al. (2023), las organizaciones con mejores resultados son las que integran mecanismos sistemáticos de evaluación, aprendizaje y mejora dentro de sus procesos de gestión. Es por lo anterior que el PDCA continúa siendo un elemento que provee el seguimiento que se requiere para asegurar que las mejoras implementadas puedan mantenerse y evolucionen continuamente.

2.3 Metodología DMAIC e integración de enfoques de mejora

DMAIC por sus siglas en inglés significa definir, medir, analizar, mejorar y controlar, este modelo es considerado uno de los más representativos de mejora estructurada de Six Sigma teniendo como objetivo principal la reducción de la variabilidad de los procesos con el uso sistemático de datos, herramientas analíticas y mecanismos de control orientados a la prevención de defectos (Antony et al., 2017).

Con el enfoque DMAIC es posible abordar problemas considerados complejos de manera lógica iniciando con la definición del problema y finaliza con el establecimiento de controles asegurando la permanencia de las mejoras implementadas. Las investigaciones recientes demuestran la efectividad de esta metodología que incrementa la eficiencia operacional y mejora en los indicadores de desempeño. Deepak et al. (2025) reportan mejoras significativas en cuanto a eficiencia productiva con la aplicación de esta metodología que puede identificar causas raíz y reducir las fuentes que ocasionan variaciones en procesos industriales. De igual manera Condé et al. (2023) identificaron que al aplicar DMAIC las mejoras en productividad, calidad y reducción de costos en diferentes sectores del área de la manufactura.

En cuanto a los entornos digitalizados la evolución de estos sistemas ha impulsado el integrar DMAIC con tecnologías propias de la Industria 4.0 como es la inteligencia artificial, el uso y análisis de datos en tiempo real, lo que ha fortalecido el potencial de Six Sigma permitiendo optimizar de manera simultánea la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos productivos (Sony, 2020; Ozkan-Ozen et al., 2024).

Actualmente la integración de herramientas como Lean Manufacturing, DMAIC y PDCA, favorece el abordar de manera simultánea la eliminación de desperdicios, la reducción de la variabilidad y asegurar los resultados alcanzados. Acorde con Antony et al. (2023), al integrar estos enfoques se favorece la visión sistémica de la excelencia operacional. Aunado a lo anterior para Marques et al. (2025), concuerdan que esta integración fortalece la sostenibilidad operativa, mejora la productividad y contribuye en el desarrollo de ventajas competitivas sostenibles en las organizaciones manufactureras. Desde esta perspectiva, las optimizaciones de procesos se convierten en una estrategia continua de gestión para la generación de valor y el fortalecimiento del desempeño organizacional. La sostenibilidad manufacturera se ha consolidado como una línea prioritaria de investigación al integrar dimensiones económicas, ambientales y sociales (Setyadi et al., 2025).

3. Metodología

3.1 Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo-descriptivo y alcance comparativo. El estudio se desarrolló con el análisis de dos intervenciones realizadas en organizaciones manufactureras pertenecientes a sectores industriales distintos, en ambas la finalidad fue optimizar procesos operativos utilizando herramientas de mejora continua.

Como parte de la investigación se identificaron problemáticas operativas, se analizaron sus causas raíz, se implementaron acciones de mejora evaluando los resultados obtenidos por medio de indicadores de desempeño (KPI). El carácter comparativo permitió analizar la contribución de distintas herramientas de mejora continua en diferentes contextos productivos, logrando identificar elementos comunes que favorecen la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los resultados.

3.2 Casos de estudio analizados

Se analizaron dos casos de intervención desarrollados en el periodo 2024-2025 en organizaciones mexicanas manufactureras.

El primer caso corresponde al sector ferroviario, en el que se identificaron retrasos asociados con la gestión de información técnica utilizada en procesos de maquinado. La intervención tuvo como propósito la reducción de tiempos improductivos relacionados con la carga y actualización de documentación operativa.

El segundo caso es una empresa del sector de electrodomésticos en la que se detectaron defectos recurrentes en la línea de ensamble, específicamente en la línea de atornillado, así como tiempos improductivos y problemas de estandarización, los cuales afectaban la calidad del producto y el desempeño operativo. En ambos casos se mantuvo la confidencialidad organizacional, enfocando el análisis solamente en los procesos intervenidos y los resultados obtenidos, ver Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización metodológica de los casos de estudio.

Elemento	Caso ferroviario	Caso electrodomésticos
Proceso intervenido	Gestión y carga de información técnica para maquinado	Atornillado y control de ensamble en Dryer Wrapper
Metodología eje	PDCA	DMAIC
Herramientas de diagnóstico	FODA, Gemba, lluvia de ideas, encuestas, Ishikawa, Pareto	Encuesta a operadores, Pareto, Ishikawa, 5 porqués, SIPOC
Indicadores principales	Tiempo de carga, porcentaje de jornada, cargas no planeadas	Rechazos por atornillado, tiempo de atornillado, defectos por ovalamiento

Acciones de mejora	Digitalización y control de hojas set-up en OneDrive/GSI	Instructivo, ayuda visual, Jig, delimitación, rack, contenedores y capacitación

3.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Para la recopilación de información se realizó observación directa de los procesos, entrevistas informales con el personal operativo y supervisores, análisis documental, estudios de tiempos y revisión de los indicadores operativos.

También se utilizaron como instrumentos de apoyo los registros de producción, los formatos de control interno, hojas de proceso, documentación técnica, encuestas de percepción a los operadores y las bases de datos operativas proporcionadas por las organizaciones participantes.

Con la información obtenida se caracterizaron los procesos, se identificaron las fuentes que ocasionaban desperdicios, se determinaron tiempos improductivos haciendo posible establecer las condiciones iniciales para cada intervención.

3.4 Procedimiento para cada intervención

En las intervenciones se consideraron principios de mejora continua y herramientas de Lean Manufacturing, utilizando como eje metodológico el ciclo PDCA para el caso ferroviario y la metodología DMAIC para el caso de electrodomésticos. Durante la fase de diagnóstico, se emplearon herramientas como la observación directa, caminatas Gemba, diagramas de Ishikawa, análisis de Pareto, la técnica de los cinco porqués, análisis FODA y encuestas al personal operativo, haciendo posible el identificar las principales problemáticas, priorizar oportunidades de mejora y determinar las causas raíz que afectaban el desempeño de los procesos.

Posteriormente, se llevaron a cabo estudios de tiempos, análisis de movimientos, evaluación de indicadores operativos y la caracterización de las actividades que no agregaban valor. Los hallazgos hicieron posible diseñar acciones de mejora enfocadas en la reducción de desperdicios, la optimización de recursos y la estandarización documental, fortaleciendo así el control operacional.

Las propuestas que se desarrollaron incluyeron la actualización de documentación técnica, la implementación de ayudas visuales, la estandarización de procedimientos, la capacitación del personal, mejoras ergonómicas, redistribución de actividades operativas y el fortalecimiento de mecanismos de seguimiento y control. Finalmente se realizaron pruebas piloto y evaluaciones posteriores para verificar el impacto de las mejoras implementadas validando la efectividad de las acciones desarrolladas.

3.5 Estrategia de análisis comparativo

Para llevar a cabo el análisis de resultados se compararon los indicadores de desempeño: tiempos de operación, defectos, reprocesos, utilización de recursos y eficiencia operativa antes y después de cada intervención.

Después se realizó una comparación trasversal entre ambos casos con el fin de identificar similitudes en los factores que originaban las problemáticas, herramientas utilizadas para su solución y los resultados alcanzados. Con este enfoque fue posible determinar de qué manera al integrar Lean Manufacturing, PDCA y DMAIC, se contribuye a la optimización de procesos de manufactura y se fortalece al mismo tiempo la productividad, calidad y la sostenibilidad operativa.

El criterio de comparación utilizado fue considerar tres dimensiones comunes presentes en ambos casos: 1) la naturaleza de la problemática intervenida, 2) las herramientas de mejora continua utilizadas y 3) los resultados obtenidos en función de productividad y desempeño operativo. Mediante este esquema fue posible establecer puntos de convergencia entre las dos intervenciones, independientemente del sector industrial de cada organización, lo que permitió la identificación de prácticas transferibles a otros contextos manufactureros. Asimismo, con el análisis comparativo se contribuyó a la comprensión de cómo la integración de metodologías de mejora continua puede generar resultados medibles en procesos administrativos y en procesos relacionados directamente con la producción.

4. Resultados y discusión

4.1 Diagnóstico inicial de las intervenciones

El diagnóstico mostró que los dos procesos presentaban pérdidas operativas, aunque estas se manifestaban de forma distinta. En el caso ferroviario, el problema se concentró en la gestión de hojas set-up y en la carga de información técnica para maquinado; las principales causas fueron el consumo excesivo de recursos, el tiempo por turno destinado a la carga, la carga incompleta o incorrecta y la pérdida de hojas por otros turnos. En el caso de electrodomésticos, las fallas se asociaron con defectos de atornillado, falta de calibración, falta de presión en pistola, ausencia de capacitación formal y problemas de alineación de componentes, ver Tabla 2.

Esta lectura permitió precisar que las ineficiencias no provenían solamente de la operación directa de manufactura. En ambos casos existían actividades de soporte que condicionaban el desempeño del proceso: gestión documental, disponibilidad de información, control visual, capacitación y estandarización. Por ello, el diagnóstico se integró al artículo no como una descripción aislada, sino como evidencia para explicar por qué las mejoras posteriores tuvieron efecto sobre productividad y calidad.

Tabla 2: Principales hallazgos del diagnóstico de los casos de estudio.

Caso	# de Hallazgos principales en el diagnóstico	Evidencia utilizada
Ferroviario	Consumo excesivo de recursos (41), tiempo excesivo de carga (40), carga incompleta o incorrecta (36), pérdida de hojas set-up (27) y falta de material o consumibles (18).	Tabla de ocurrencia, Pareto, Gemba, FODA, encuesta y medición de tiempos.
Electrodomésticos	Defectos por atornillado, falta de calibración, falta de presión en pistola, falta de capacitación formal y desalineación de componentes.	Encuesta a operadores, Pareto, Ishikawa, 5 porqués, SIPOC y estudio de tiempos.

Se realizó un diagrama de Pareto para mostrar la jerarquía de factores detectados en el caso ferroviario, ver Figura 1. Se observa que las principales pérdidas estaban vinculadas con recursos, carga documental y control de hojas set-up, lo que justificó la decisión de intervenir la gestión de información técnica antes de ampliar el alcance hacia otras áreas del proceso.

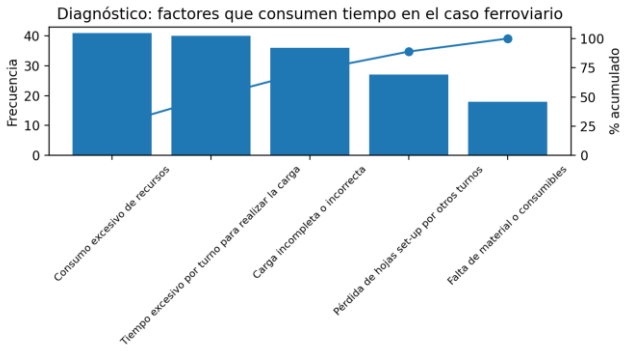


Figura 1: Factores asociados con el consumo de tiempo en el caso ferroviario.

Estos resultados coinciden con Yadav et al. (2020), quienes identificaron que gran parte de las pérdidas de productividad en manufactura tienen su origen en desperdicios operativos y actividades innecesarias que están ocultas dentro de los procesos cotidianos. De igual manera, Tortorella et al. (2021) afirman que las organizaciones que tienen mejores resultados operativos son aquellas que pueden identificar sistemáticamente las fuentes de variación, desperdicio y posteriormente implementar metodologías de mejora continua.

Un resultado importante de subrayar es que en la fase diagnóstica los problemas observados no estaban relacionados con limitaciones tecnológicas significativas sino con la forma de gestionar los procesos la información y las actividades operativas. Lo anterior ha sido ampliamente documentado en la literatura Lean, en la que se reconoce que una parte importante de las oportunidades de mejora se encuentra en la organización del trabajo y en eliminar las actividades que no generan valor al cliente (Womack & Jones, 2003).

4.2 Herramientas de mejora implementadas

Para atender las problemáticas identificadas, las intervenciones se estructuraron bajo rutas metodológicas formales. En el caso de electrodomésticos, el proceso se desarrolló siguiendo las cinco etapas de la metodología DMAIC:

Definir: Se delimitó el problema en la línea de ensamble Dryer Wrapper identificado como variable crítica para la calidad (CTQ) el proceso de atornillado. Se elaboró un diagrama SIPOC para mapear el flujo de la operación y el impacto directo en los requerimientos del cliente interno.

Medir: Se recolectaron datos operativos iniciales registrando 14.8% de ensambles rechazados por atornillado, un tiempo promedio de ciclo de 11.5 segundos, 98 casos semanales de defectos por deformación en tina y 65 minutos diarios perdidos en búsqueda de materiales.

Analizar: A partir de los datos obtenidos se identificaron y priorizaron las principales causas asociadas con los defectos del proceso. Mediante el diagrama de Pareto se determinaron los factores con mayor incidencia, mientras que el diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués permitieron profundizar en las causas relacionadas con el método de trabajo, la calibración de la herramienta, la presión de la pistola de atornillado, la capacitación del personal y la alineación de los componentes. Este análisis permitió establecer la relación entre las causas detectadas con los rechazos registrados en la línea de producción y orientar las acciones de mejora hacia los factores con mayor impacto en la calidad y en el desempeño del proceso.

Mejorar: Con base en las causas identificadas en la fase de análisis se implementó la estandarización operativa por medio de instructivos y ayudas visuales, la integración de un Jig de inspección, el rediseño ergonómico con racks/contenedores y la capacitación del personal en el puesto de trabajo.

Controlar: Se establecieron hojas de proceso estándar, delimitación física del área y métricas de seguimiento para evaluar el desempeño de la línea, garantizar la estabilidad de los cambios y prevenir el retorno a la condición inicial.

Para el caso ferroviario, la metodología estuvo centrada en el ciclo PDCA. En Planificar se realizó la prueba piloto digital; en Hacer se llevó a cabo la migración a OneDrive/GSI de 931 archivos técnicos; en Verificar se evaluó si el tiempo de carga diario era el adecuado; y en Actuar se estandarizaron las hojas *set-up*. Al integrar ambos enfoques se demuestra la versatilidad para abordar la variabilidad en ensambles físicos (DMAIC) e ineficiencias en flujos de información (PDCA).

Esta diferencia metodológica logró fortalecer esta investigación, porque permite mostrar que las herramientas de mejora continua se pueden adaptar a procesos administrativos-operativos y a operaciones directas de ensamble. En ambos casos se utilizaron herramientas de análisis de causa y priorización, sin embargo en cada caso su aporte fue distinto. El Pareto permitió determinar los factores con mayor incidencia; Ishikawa y 5 porqués ayudaron a identificar causas vinculadas con el método, la capacitación, la herramienta y el control; mientras que los KPI permitieron comparar la condición inicial con la condición posterior a la intervención. Esta combinación evitó que las propuestas se basaran únicamente en percepción del personal y permitió sustentar las decisiones con datos de proceso.

De acuerdo con Cherrafi et al. (2016), la efectividad de estas metodologías está fundamentada en su capacidad para la integración de herramientas analíticas, participación del personal y mecanismos de control que permitan la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo. De acuerdo con Tampubolon y Purba (2021), así como Adeodu et al. (2021), la aplicación de manera estructurada de estas metodologías favorece simultáneamente la productividad, calidad y desempeño organizacional al permitir la eliminación sistemática de desperdicios, la reducción de variabilidad y la optimización de los procesos productivos.

4.3 Resultados obtenidos en productividad y desempeño operativo

En el caso ferroviario, la prueba piloto redujo el tiempo promedio de carga de información técnica de 2.5 a 1 hora diaria. También disminuyó el porcentaje de jornada laboral destinado a esta actividad, de 28.82% a 11.76%, lo que liberó tiempo para actividades productivas y redujo la dependencia de cargas no planeadas. El trabajo de referencia reporta además la carga de 931 archivos existentes de un total de 936, lo cual muestra un avance importante en el control documental del proceso.

La estructuración del problema bajo las fases de DMAIC permitió articular los hallazgos del diagnóstico con acciones de control específicas, logrando una reducción del 78.4% en rechazos por atornillado y un 19.1% de optimización en el tiempo de ciclo. La estandarización en la fase Controlar de DMAIC y la etapa de Actuar del PDCA constituyó el punto de convergencia que garantizó la sostenibilidad operativa de ambas y su mejora a través del tiempo, ver Tabla 3.

Tabla 3: Comparación de indicadores antes y despúes de las intervenciones.

Indicador	Antes	Después	Mejora
Tiempo promedio de carga (h/día)	2.5	1.0	60.0%
Jornada laboral dedicada a carga	28.82%	11.76%	59.2%
Ensambles rechazados por atornillado	14.8%	3.2%	78.4%
Tiempo promedio de atornillado	11.5 s	9.3 s	19.1%
Defectos por deformación no detectada	98 casos/semana	30 casos/semana	69.4%
Tiempo muerto por búsqueda de materiales	65 min/día	25 min/día	61.5%

Las mejoras no fueron homogéneas, debido a la naturaleza distinta de los procesos. Las reducciones más altas se observaron en los indicadores asociados con defectos de calidad y control visual; mientras que la reducción del tiempo de atornillado fue menor, aunque relevante, porque impacta directamente en el ritmo de línea, ver Figura 2.

Los resultados que se obtuvieron son consistentes con investigaciones recientes que dan a conocer mejoras importantes en productividad y desempeño operativo cuando las organizaciones implementan herramientas Lean y Lean Six Sigma sistemáticamente. En su investigación Panigrahi et al. (2023) identificaron que al implementar prácticas Lean estructuradas generan efectos positivos en la productividad y el desempeño empresarial, aunado a esto documentaron mejoras significativas en indicadores de calidad, reducción de desperdicios y eficiencia operativa derivadas de proyectos Lean Six Sigma (Tampubolon & Purba, 2021; Adeodu et al., 2021).

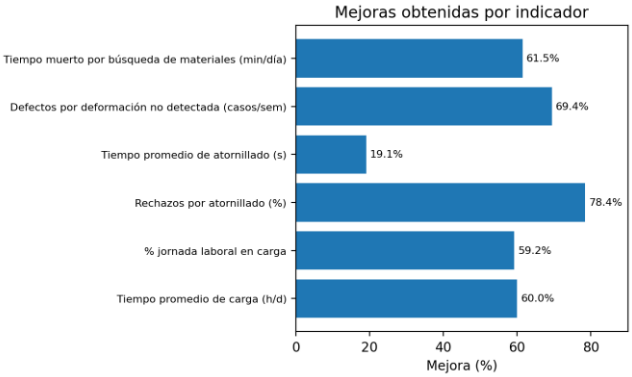


Figura 2: Porcentaje de mejora de los indicadores evaluados.

De igual manera, los beneficios documentados en ambos casos concuerdan con lo reportado por Abualfaraa et al., (2020) quienes afirman que cuando se optimizan procesos con herramientas de mejora continua se contribuye de manera simultánea a la eficiencia operativa y a la sostenibilidad organizacional debido a la reducción de consumos innecesarios de recursos, tiempos improductivos y reprocesos.

4.4 Análisis comparativo de la integración metodológica

La comparación transversal hizo posible el confirmar que PDCA y DMAIC no operaron como enfoques excluyentes. Con el primero se facilitó la agilidad operativa en la gestión documental, coordinación y uso de sistemas digitales, y con el segundo se logró la estructura cuantitativa y analítica necesaria para disminuir la variabilidad del proceso productivo. En ambos casos, el factor común fue la construcción de un diagnóstico con datos, la selección de acciones concretas y la verificación posterior por medio de indicadores.

También se identificó que la estandarización fue el elemento común en los dos procesos. En el caso ferroviario, la estandarización se vio reflejada en el control de hojas set-up y en la digitalización de la información. En el caso de electrodomésticos, se reflejó en instructivos, ayudas visuales, puntos de inspección, delimitación del área y capacitación. Por ello, el aporte de este artículo no se limita a reportar porcentajes de mejora, sino a mostrar que la estabilidad de un proceso depende de transformar las soluciones en prácticas visibles, medibles y repetibles.

Los resultados coinciden con la literatura reciente de Lean y Lean Six Sigma, la cual señala que las mejoras permanentes aparecen cuando las organizaciones combinan participación del personal, análisis de datos, control visual, estandarización y seguimiento de indicadores (Sfreddo et al., 2021; Antony et al., (2023). En este sentido, los dos casos contribuyen con evidencia aplicada en México de la utilidad que tiene el integrar herramientas de mejora continua en procesos de manufactura con necesidades distintas.

4.5 Implicaciones para la gestión de operaciones

Los hallazgos sugieren que la transformación digital no sustituye la mejora continua; más bien es requerida como fundamento estratégico. En el caso ferroviario, la digitalización de hojas set-up resultó efectiva debido a que respondió a un problema identificado de manera clara y se

acompañó de un adecuado control documental. En el caso de electrodomésticos, la mejora no dependió de incorporar tecnología compleja, sino de ordenar el trabajo, documentarlo y generar puntos de verificación visibles para el personal, lo cual evidencia la estrecha relación entre la digitalización y las técnicas tradicionales de Lean (Ciano et al., 2021). De manera similar, Ghobakhloo et al. (2023) afirman que la competitividad industrial futura de las organizaciones dependerá de su capacidad para la integración de tecnologías digitales con sistemas de mejora continua orientados a la sostenibilidad y la generación de valor.

En consecuencia, antes de avanzar hacia modelos de Industria 4.0, es importante que las organizaciones manufactureras tengan procesos estables, información confiable y mecanismos de control simples pero constantes. Esta afirmación es relevante para empresas que buscan elevar su desempeño sin depender exclusivamente de inversiones tecnológicas a gran escala, lo que demuestra que las herramientas Lean, PDCA y DMAIC son vigentes para reducir desperdicios, defectos y tiempos improductivos.

5. Conclusiones

El análisis comparativo permitió confirmar que la mejora continua puede generar resultados medibles en procesos manufactureros de naturaleza distinta, siempre que la intervención parta de un diagnóstico claro, esté apoyada en datos y concluya con mecanismos de control. En el caso ferroviario, la mejora se concentró en el flujo de información técnica; en el caso de electrodomésticos, en la reducción de defectos y tiempos asociados al ensamble.

El estudio muestra que la efectividad no dependió de aplicar una sola metodología, sino de seleccionar herramientas acordes con el problema. PDCA permitió ordenar una intervención vinculada con gestión documental y coordinación operativa, mientras que DMAIC facilitó el análisis de variabilidad y control de calidad en una operación crítica. Esta complementariedad es uno de los principales aportes del trabajo.

La estandarización aparece como el factor común en ambos casos. Digitalizar, documentar, capacitar, delimitar, verificar y medir fueron acciones que ayudaron a transformar problemas cotidianos en prácticas de mejora sostenibles. Por ello, las herramientas Lean, PDCA y DMAIC siguen siendo pertinentes para organizaciones que buscan avanzar hacia procesos más eficientes antes de incorporar soluciones tecnológicas de mayor complejidad.

Como línea de continuidad, se recomienda ampliar el estudio hacia otros procesos y sectores productivos, en periodos de seguimiento más largos que permitan evaluar la permanencia de los resultados y la adjudicación de las mejoras por parte del personal operativo.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores no utilizaron **IA en la redacción y contenido del manuscrito**. Por lo que, asumimos plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

6. Referencias

Abualfaraa, W., Salonitis, K., Al-Ashaab, A., & Ala'raj, M. (2020). Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability. *Sustainability*, *12*(3), Article 981. https://doi.org/10.3390/su12030981

Adeodu, A., Kanakana-Katumba, M., & Rendani, M. (2021). Implementation of Lean Six Sigma for production process optimization in a paper production company. *Journal of Industrial Engineering and Management, 14*(3), 661-680. https://doi.org/10.3926/jiem.3479

Antony, J., Snee, R., & Hoerl, R. (2017). Lean Six Sigma: Yesterday, today and tomorrow. *International Journal of Quality & Reliability Management, 34*(7), 1073–1093. https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2016-0035

Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Swarnakar, V., Galli, B., Doulatabadi, M., & Kaul, R. (2023). An empirical study into the reasons for failure of sustaining operational excellence initiatives in organizations. *The TQM Journal, 35*(7), 1569–1587. https://doi.org/10.1108/TQM-05-2022-0176

Buer, S. V., Semini, M., Strandhagen, J. O., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of Lean Manufacturing and Digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, *59*(7), 1972-1992. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684

Cherrafi, A., Elfezazi, S., Chiarini, A., Mokhlis, A., & Benhida, K. (2016). The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions. *Journal of Cleaner Production, 139*, 828–846. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.101

Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International Journal of Production Research, 59*(5), 1386–1401. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119

Condé, G. C. P., Oprime, P. C., Pimenta, M. L., Sordan, J. E., & Bueno, C. R. (2023). Defect reduction using DMAIC and Lean Six Sigma: a case study in a manufacturing car parts supplier. *International Journal of Quality & Reliability Management*. https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2022-0157

Deepak, D., Farwaha, H. S., & Alqahtani, F. M. (2025). Enhancement in production efficiency using DMAIC methodology of six sigma. *Scientific Reports, 15*, Article 45109. https://doi.org/10.1038/s41598-025-32861-7

Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Babaee Tirkolaee, E., Asadi, S., & Amran, A. (2023). Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap. *Journal of Cleaner Production, 417*, 138023. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138023

Marques, P., Conceição, L., Carvalho, A. M., & Reis, J. (2025). Driving sustainable operations: Aligning Lean Six Sigma practices with sustainability goals. *Sustainability*, *17*(19), Article 8898. https://doi.org/10.3390/su17198898

Moen, R., & Norman, C. (2010). Circling back: Clearing up myths about the Deming cycle and seeing how it keeps evolving. *Quality Progress*, *43*(11), 22–28.

Netland, T. H. (2016). Critical success factors for implementing lean production: The effect of contingencies. *International Journal of Production Research*, *54*(8), 2433–2448. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1096976

Ozkan-Ozen, Y. D., Kazancoglu, Y., Mangla, S. K., & Sezer, M. D. (2024). Integrating Lean Six Sigma with life cycle and value stream level of RAMI 4.0. *Quality Management Journal, 31*(4), 225-241. https://doi.org/10.1080/10686967.2024.2394400

Panigrahi, S., Al Ghafri, K. K., Al Alyani, W. R., Khan, M. W. A., Al Madhagy, T., & Khan, A. (2023). Lean manufacturing practices for operational and business performance: A PLS-SEM modeling analysis. International Journal of Engineering Business Management, *15*, 1–16. https://doi.org/10.1177/18479790221147864

Pierli, G., Murmura F., E., & Bravi, L. (2025). Lean manufacturing and sustainability pillars: A systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma, 17*(8), 1-26. https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2024-0197

Sony, M. (2020). Design of cyber physical system architecture for Industry 4.0 through Lean Six Sigma: Conceptual foundations and research issues. *Production & Manufacturing Research, 8*(1), 158–181. https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1774814

Sfreddo, L. S., Vieira, G. B. B., Vidor, G., & Santos, C. H. S. (2021). ISO 9001 based quality management systems and organisational performance: A

systematic literature review. *Total Quality Management & Business Excellence, 32*(3-4), 389-409. https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1549939

Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management, 25*(4), 785–805. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019

Setyadi, A., Christian, J., & Rahayu, S. (2025). Trends and Opportunities in Sustainable Manufacturing: A systematic review of key dimensions from 2019 to 2024. *Sustainability, 17*(2), Article 789. https://doi.org/10.3390/su17020789

Tampubolon, S., & Purba, H. H. (2021). Lean Six Sigma implementation: A systematic literature review. *International Journal of Production Management and Engineering, 9*(2), 125–139. https://doi.org/10.4995/ijpme.2021.14561

Tortorella, G. L., Saurin, T. A., Godinho Filho, M., Samson, D., & Kumar, M. (2021). Bundles of Lean Automation practices and principles and their impact on operational performance. *International Journal of Production Economics, 235*, 108106. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108106

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (Rev. and updated ed.). Free Press.

Yadav, G., Luthra, S., Huisingh, D., Mangla, S. K., Narkhede, B. E., & Liu, Y. (2020). Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, *245*, Article 118726. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118729