

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

Successful implementation of lean manufacturing and circular economy: what every company should consider

María Blanca Becerra Rodríguez ¹
Arturo Hernández Hernández ²
Roberto Zitzumbo Guzmán ³
Wendy Maldonado González ⁴
Cornelio Morales Morales ⁵

RESUMEN

En este estudio se desarrolló en una investigación documental, descriptiva y de campo, aplicando encuestas diseñadas a partir de los factores críticos identificados en la literatura para la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. La muestra incluyó 40 empresas localizadas en cuatro parques industriales del estado de Querétaro, parte de los 49 existentes en municipios como El Marqués, Querétaro, Colón, Corregidora, San Juan del Río y Pedro Escobedo, pertenecientes a sectores clave como automotriz, plástico, alimentario, agrícola, entre otros.

Los hallazgos evidencian un marcado interés empresarial en incorporar estas metodologías y transitar hacia modelos operativos sostenibles. Sin embargo, persisten barreras relevantes asociadas con la cultura organizacional, la resistencia al cambio y las limitaciones en programas de formación. La integración de Lean Manufacturing y Economía Circular se perfila como una estrategia esencial para fortalecer la competitividad, optimizar procesos y reducir los impactos ambientales en la región, aportando un marco de referencia sólido para la gestión industrial con más de dos décadas de experiencia aplicada.

PALABRAS CLAVES: Economía Circular, Manufactura, Lean.

Fecha de recepción: 03 de julio, 2025.

Fecha de aceptación: 15 de septiembre, 2025.

¹ Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de Querétaro (ITQ); maria.br@queretaro.tecnm.mx; <https://orcid.org/0000-0003-2463-8757>

² Profesor-Investigador de la Universidad Politécnica de Querétaro (UPQ); arturo.hernandez@upq.mx; <https://orcid.org/0000-0001-7636-6488>

³ Investigador de Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC); rzitzumb@ciatec.mx; <https://orcid.org/0000-0002-4124-8825>

⁴ Profesora-Investigadora del Tecnológico Nacional de México/IT de Querétaro (ITQ); wendy.mg@queretaro.tecnm.mx; <https://orcid.org/0009-0001-4558-8480>

⁵ Profesor-Investigador Tecnológico Nacional de México/IT de San Juan del Río (ITSJR); cornelio.mm@sjuanrio.tecnm.mx; <https://orcid.org/0000-0002-3470-4626>



ABSTRACT

In this study, a documentary, descriptive, and field investigation was carried out, applying surveys designed based on the critical factors identified in the literature for the implementation of Lean Manufacturing and Circular Economy. The sample included 40 companies located in four industrial parks in the state of Querétaro, part of the 49 existing in municipalities such as El Marqués, Querétaro, Colón, Corregidora, San Juan del Río, and Pedro Escobedo, belonging to key sectors such as automotive, plastics, food, agriculture, among others.

The findings reveal a strong business interest in adopting these methodologies and moving toward sustainable operational models. However, significant barriers remain, particularly those related to organizational culture, resistance to change, and limitations in training programs. The integration of Lean Manufacturing and Circular Economy emerges as an essential strategy to strengthen competitiveness, optimize processes, and reduce environmental impacts in the region, providing a solid reference framework for industrial management supported by more than two decades of applied experience.

KEYWORDS: Circular Economy, Manufacturing, Lean.

INTRODUCCIÓN

En un escenario industrial caracterizado por alta competitividad y demandas crecientes de sostenibilidad, las organizaciones enfrentan el reto de optimizar sus procesos productivos mientras adoptan prácticas responsables con el entorno (Parlamento Europeo, 2023). En este contexto, metodologías como Lean Manufacturing y la Economía Circular han cobrado especial relevancia, al impulsar la eficiencia, la reducción de desperdicios y la mejora continua, aunque desde enfoques distintos y complementarios (Rojas & Soler, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2020).

El Lean Manufacturing, originado en el sistema de producción de Toyota, se centra en eliminar actividades que no generan valor, optimizar recursos y perfeccionar procesos de manera sistemática (Womack & Jones, 2003). Su implementación favorece la productividad, disminuye costos, reduce inventarios y mejora la calidad, generando beneficios tanto para la organización como para sus colaboradores y clientes (Socconini, 2019).

Por su parte, la Economía Circular propone un modelo de producción y consumo orientado a mantener el valor de productos, materiales y recursos dentro del ciclo económico el mayor tiempo posible. A diferencia del esquema lineal tradicional de “producir–usar–desechar”, fomenta la reutilización, el reciclaje, la reparación y la regeneración, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental y promoviendo economías locales resilientes (Belda, 2018; Repsol, 2024).

Ambas metodologías comparten principios esenciales como la eficiencia de recursos, la reducción de desperdicios y la mejora continua, lo que posibilita su integración como estrategia conjunta para incrementar el desempeño operativo y ambiental en las empresas (de Miguel et al., 2021).

Este estudio tiene como propósito analizar los factores críticos que inciden en la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular en compañías ubicadas en parques industriales del estado de Querétaro. A través de una investigación basada en encuestas, se busca identificar desafíos,

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

oportunidades y condiciones que determinan el nivel de adopción de estas metodologías en distintos sectores productivos de la región.

La identificación de dichos factores permitirá no solo plantear propuestas de mejora para las organizaciones participantes, sino también contribuir al diseño de estrategias efectivas que aceleren la transición hacia un modelo productivo más competitivo, eficiente y sostenible, con respaldo de más de dos décadas de experiencia aplicada (Production Tools, 2024).

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales motivos para avanzar hacia un modelo de Economía Circular es la creciente presión sobre los recursos naturales. Varias materias primas críticas son finitas y, conforme aumenta la población mundial, también lo hace la demanda de insumos estratégicos. Ante este panorama, el diseño de productos reutilizables, la remanufactura y el reciclaje de materiales se convierten en alternativas esenciales para prolongar el ciclo de vida de los productos y reducir los residuos generados. Al mismo tiempo, este enfoque impulsa la innovación en el diseño, la manufactura y los modelos de negocio, generando mejoras sustanciales en eficiencia, productividad y competitividad (Parlamento Europeo, 2023).

En paralelo, las organizaciones enfrentan la necesidad de incrementar su eficiencia operativa y responder a exigencias ambientales cada vez más estrictas. En este contexto, Lean Manufacturing y la Economía Circular surgen como metodologías complementarias que permiten integrar la optimización de recursos con la sostenibilidad. Mientras Lean Manufacturing se orienta a eliminar actividades que no generan valor, fortalecer la mejora continua y perfeccionar procesos productivos, la Economía Circular propone abandonar el paradigma lineal de "extraer–producir–desechar" para mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, regenerar materiales y minimizar impactos negativos.

La implementación conjunta de estas metodologías representa una estrategia sólida para incrementar el desempeño económico, ambiental y social de las empresas. Su integración favorece la reducción de desperdicios desde la etapa de diseño, promueve la reutilización y el reciclaje, y convierte los residuos en nuevas oportunidades de valor agregado, consolidando un enfoque sinérgico que trasciende la mera eficiencia operativa.

En el caso del estado de Querétaro, caracterizado por un marcado dinamismo industrial y un ecosistema empresarial en constante transformación, la aplicación de estas metodologías adquiere una relevancia estratégica. Las compañías locales enfrentan desafíos como el incremento en los costos de insumos, el cumplimiento de regulaciones ambientales y la necesidad de adaptarse a consumidores cada vez más conscientes. Comprender los factores que impulsan o limitan la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular en este entorno resulta clave para formular estrategias de implementación viables y sostenibles.

Esta investigación busca ofrecer evidencia empírica y análisis contextual que orienten tanto a las empresas como a las instituciones en la construcción de modelos de producción más eficientes, responsables y resilientes, respaldados por más de dos décadas de experiencia en el estudio y aplicación de metodologías de mejora industrial y sostenibilidad.



METODOLOGÍA

Uno de los principales impulsores para transitar hacia un modelo de Economía Circular es la creciente presión sobre los recursos naturales. Diversas materias primas críticas son limitadas y, a medida que la población mundial se expande, también aumenta la demanda de insumos estratégicos. Ante este escenario, el diseño de productos reutilizables, la remanufactura y el reciclaje de materiales se convierten en alternativas indispensables para extender la vida útil de los bienes y reducir la generación de desechos. Paralelamente, este enfoque fomenta la innovación en el diseño, los procesos de manufactura y los modelos de negocio, lo que se traduce en mejoras significativas en eficiencia, productividad y competitividad (Parlamento Europeo, 2023).

Simultáneamente, las organizaciones enfrentan el reto de optimizar su desempeño operativo mientras atienden crecientes exigencias ambientales. En este contexto, Lean Manufacturing y la Economía Circular emergen como metodologías complementarias que permiten articular la eficiencia de recursos con la sostenibilidad. Lean Manufacturing se orienta a eliminar actividades que no generan valor, fortalecer la mejora continua y perfeccionar procesos productivos; mientras que la Economía Circular rompe con el esquema lineal de “extraer–producir–desechar”, promoviendo mantener los recursos en uso durante más tiempo, regenerar materiales y disminuir los impactos negativos.

La integración de ambas metodologías constituye una estrategia robusta para potenciar el desempeño económico, ambiental y social de las empresas. Este enfoque sinérgico no solo reduce desperdicios desde la fase de diseño, sino que impulsa la reutilización, el reciclaje y la transformación de residuos en nuevas oportunidades de valor, superando los límites de la mera eficiencia operativa.

En el estado de Querétaro, caracterizado por su dinamismo industrial y un entorno empresarial en constante evolución, la aplicación de estas metodologías resulta particularmente estratégica. Las compañías locales enfrentan retos como el aumento en los costos de insumos, el cumplimiento de normativas ambientales más estrictas y la necesidad de responder a patrones de consumo responsables. Identificar los factores que facilitan o dificultan la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular en este contexto es esencial para diseñar estrategias de implementación viables, adaptables y sostenibles.

Con esta investigación se pretende aportar evidencia empírica y un análisis contextual que orienten tanto a las empresas como a las instituciones en la construcción de modelos productivos más eficientes, sostenibles y resilientes, sustentados en más de dos décadas de experiencia en la aplicación de metodologías de mejora industrial y gestión ambiental (Kim et al., 2023).

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El presente estudio se realizó en cuatro parques industriales ubicados en el estado de Querétaro, México, donde operan empresas de sectores clave como el automotriz, plástico, alimentario y agrícola. Estas organizaciones constituyen un escenario propicio para examinar la aplicación de metodologías como Lean Manufacturing y Economía Circular, dado su dinamismo productivo, alto nivel de competitividad y los retos ambientales que enfrentan actualmente.

Para sustentar el análisis, se revisaron y sistematizaron diversas fuentes, entre ellas bibliografía especializada, artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso que documentan la implementación de estas metodologías en distintos contextos. Esta fase permitió identificar una serie de factores críticos de éxito (FCE) recurrentes en la literatura, entre los que destacan:

- Liderazgo y compromiso de la alta dirección.
- Cultura organizacional orientada a la mejora continua.
- Formación y capacitación del personal.

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

- Disponibilidad de infraestructura y recursos tecnológicos.
- Alineación con normativas y políticas ambientales.

Caracterización de sectores y empresas (Investigación Descriptiva)

Con base en encuestas aplicadas a 40 organizaciones, se registraron variables relacionadas con:

- Tamaño y giro industrial.
- Nivel de conocimiento y grado de aplicación de Lean Manufacturing y Economía Circular.
- Principales obstáculos percibidos en la implementación.
- Prácticas vigentes vinculadas con eficiencia operativa y sostenibilidad.

Este análisis permitió comprender la diversidad de entornos y requerimientos presentes en la muestra, así como reconocer patrones comunes entre los distintos sectores productivos evaluados.

Aplicación del instrumento (Investigación de Campo)

Se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado orientado a los FCE previamente identificados (Kim et al., 2023). El levantamiento de información se dirigió a responsables de procesos, gerentes de producción, coordinadores de sostenibilidad y otros perfiles estratégicos dentro de las empresas participantes. Los resultados muestran que, aunque existe un interés considerable por incorporar estas metodologías, persisten barreras significativas, entre las que se destacan:

- Escaso conocimiento técnico sobre Lean Manufacturing y Economía Circular.
- Resistencia al cambio por parte del personal.
- Limitado respaldo institucional o gubernamental.
- Débil integración entre los objetivos de eficiencia operativa y sostenibilidad.

Este diagnóstico evidencia que la transición hacia modelos productivos más eficientes y responsables requiere no solo herramientas metodológicas, sino también estrategias de acompañamiento, fortalecimiento de competencias y apoyo institucional que garanticen su implementación efectiva.

RESULTADOS

Los hallazgos de esta investigación constituyen un referente relevante para el sector industrial del estado de Querétaro, al ofrecer una visión detallada sobre las prácticas actuales y los principales retos que enfrentan las empresas en la transición hacia modelos de producción más eficientes y sostenibles.

El estudio se desarrolló en 40 empresas ubicadas en cuatro parques industriales de la región Figura 1.



Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

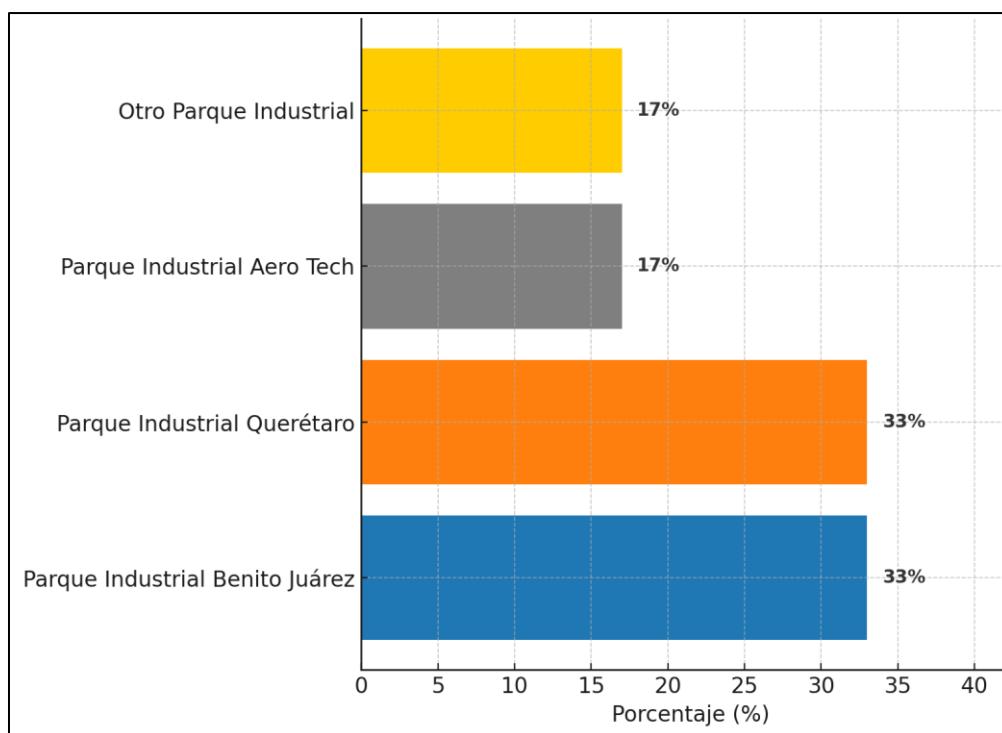


Figura 1. Distribución de Empresas por Parque Industrial

Dentro de la muestra, el sector automotriz resultó ser el más representativo, con un 42% de participación, lo que confirma su peso estratégico en la economía local y su potencial como eje para la implementación de metodologías orientadas a la eficiencia operativa Figura 2.

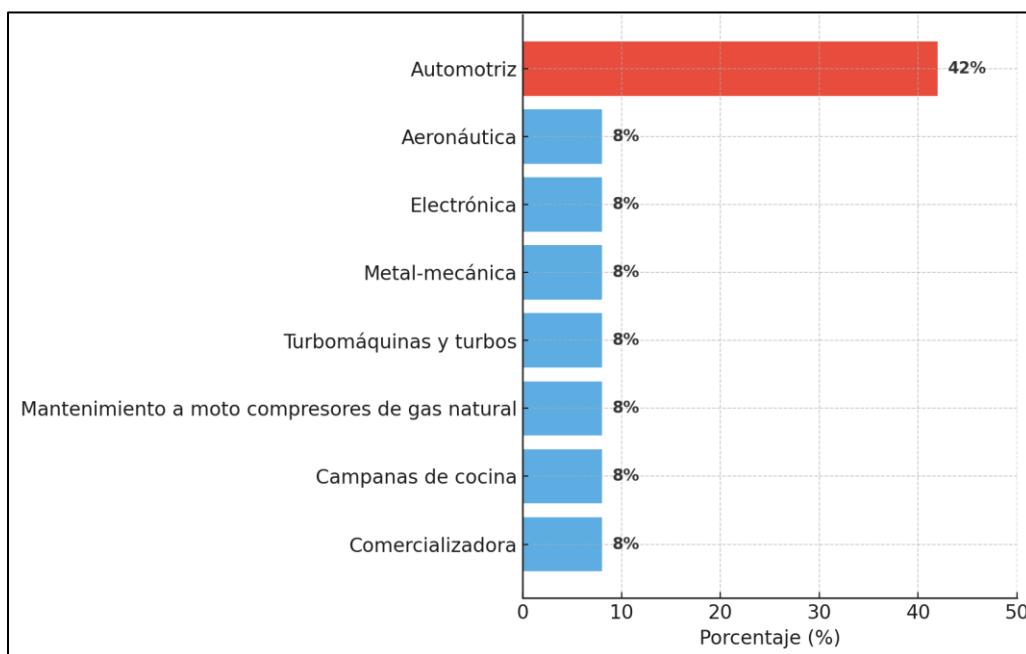


Figura 2. Distribución de Empresas por Sector Industrial

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

En cuanto al grado de adopción de metodologías, se observó que el 67% de las organizaciones encuestadas han implementado alguna herramienta asociada a Lean Manufacturing, lo cual refleja una tendencia favorable hacia la optimización de procesos y la mejora continua Figura 3.

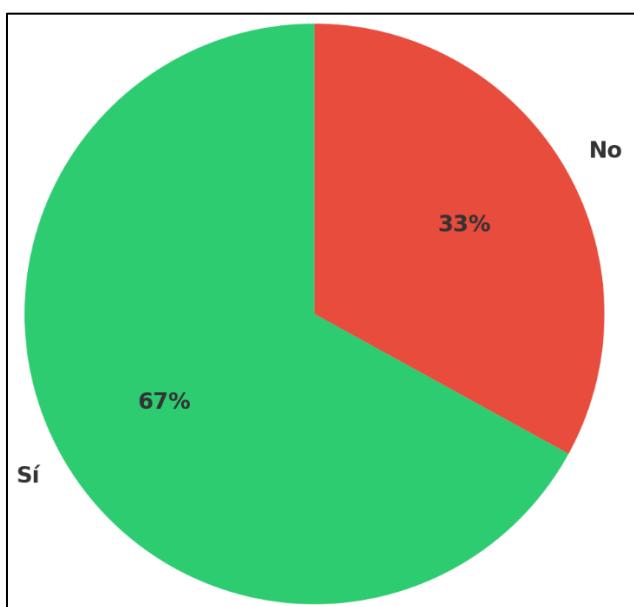


Figura 3. Implementación de Economía Circular en la Empresa

En contraste, únicamente el 33% reportó aplicar prácticas vinculadas con la Economía Circular, evidenciando una menor difusión de este enfoque en comparación con Lean Manufacturing y la necesidad de fortalecer la capacitación, los incentivos y el apoyo institucional que promuevan su integración Figura 4.

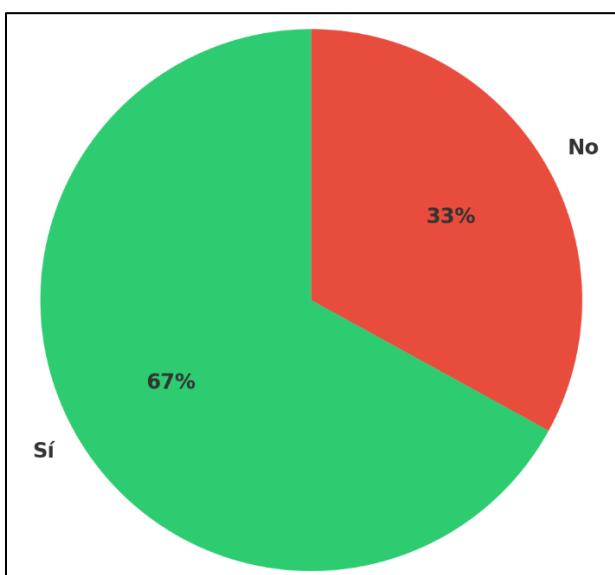


Figura 4. Nivel de implementación de Economía Circular

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

El análisis también permitió identificar los factores críticos de éxito que condicionan la adopción de ambas metodologías. Entre los más destacados se encuentran: la cultura organizacional 13%, la falta de compromiso de la alta dirección 9%, la resistencia al cambio y las limitaciones en los sistemas logísticos 7% cada uno Figura 5. Estos resultados ponen de manifiesto la relevancia de los aspectos humanos y estructurales en el proceso de transformación empresarial.

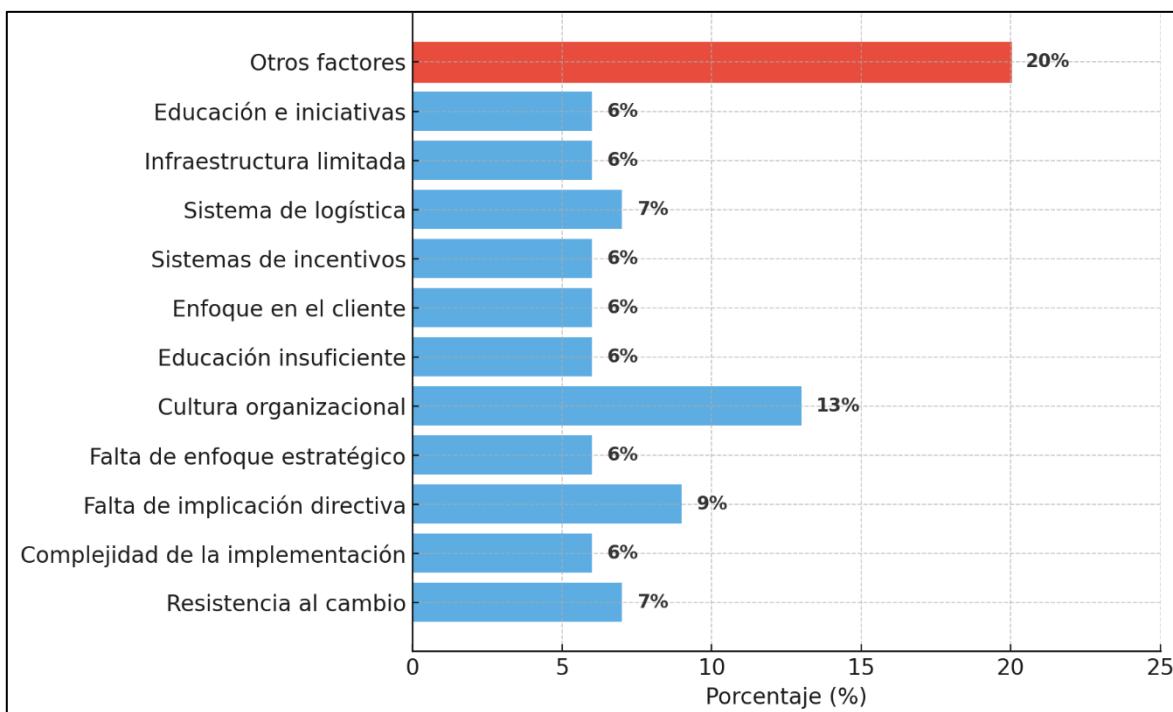


Figura 5. Factores Críticos que Afectan la Implementación

Los resultados muestran que la cultura organizacional 13%, se mantiene como la principal barrera individual en la implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. Sin embargo, al consolidar factores con menor peso relativo, el grupo denominado “Otros factores” alcanza el 20%, lo que evidencia que múltiples aspectos dispersos también representan un desafío relevante. En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de estrategias integrales que fortalezcan la cultura organizacional y, al mismo tiempo, atiendan limitaciones técnicas, estructurales y de gestión que dificultan la transición hacia modelos productivos más eficientes y sostenibles.

Correlación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular

En el análisis de las empresas participantes en parques industriales del estado de Querétaro permitió identificar tanto las prácticas vigentes como los principales retos para avanzar hacia modelos de producción más sostenibles y eficientes.

La muestra incluyó 40 empresas de distintos sectores, con una participación predominante del sector automotriz 42%, lo que confirma su papel estratégico en la región. Respecto al grado de adopción de metodologías, se observó que el 67% de las organizaciones ha implementado herramientas asociadas a Lean Manufacturing, mientras que solo el 33% aplica prácticas vinculadas con la Economía Circular, lo que evidencia una menor difusión de este enfoque en comparación con Lean.

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

En cuanto a los factores críticos de éxito, se identificó a la cultura organizacional 13%, como la principal barrera, seguida de la falta de compromiso de la alta dirección 9% y la resistencia al cambio 7%. Asimismo, se señalaron limitaciones en los sistemas logísticos y en la formación del personal, lo que confirma que la dimensión humana y estructural resulta decisiva para la adopción de nuevas metodologías.

Cruce de datos: tamaño de la empresa y nivel de implementación

Al analizar la relación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular, se identificó una correlación positiva. Las grandes compañías tienden a contar con mayores recursos financieros, tecnológicos y humanos, lo que facilita la adopción de ambas metodologías. En contraste, las pequeñas y medianas empresas (PyMES) presentan niveles de implementación más bajos, principalmente por limitaciones en infraestructura, capacitación y apoyo institucional.

Este hallazgo confirma la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas: mientras que en grandes empresas se debe reforzar la integración estratégica y la innovación, en las PyMES es fundamental promover programas de capacitación, incentivos y alianzas que reduzcan la brecha en la adopción, Figura 6.

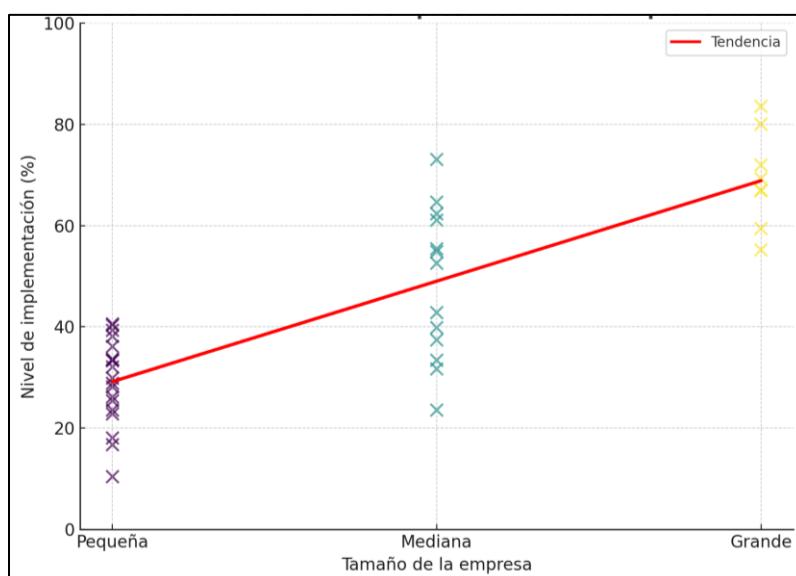


Figura 6. Tamaño de empresa vs. Nivel de implementación

La figura 6 muestra la relación entre el tamaño de la empresa y el nivel de implementación de Lean Manufacturing y Economía Circular. Se observa una correlación positiva: las grandes empresas presentan mayores niveles de implementación debido a su capacidad financiera, tecnológica y organizacional, mientras que las pequeñas y medianas presentan rezagos significativos. La línea roja representa la tendencia general identificada en el análisis.

Análisis de Retorno de Inversión (ROI) e Impacto Económico

La implementación de metodologías vinculadas con Lean Manufacturing y Economía Circular genera beneficios tangibles tanto en la reducción de costos como en la apertura de mercados. Estudios previos reportan ahorros operativos del 10 % al 30 % derivados de la disminución de desperdicios, optimización energética y valorización de residuos (Gupta et al., 2018; Črešnar et al., 2024).

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

En el contexto de los parques industriales de Querétaro, una estimación conservadora plantea que, con una reducción del 15 % en costos operativos anuales, la inversión inicial en capacitación, rediseño de procesos y certificaciones podría recuperarse en un periodo de 1 a 2 años. Bajo este escenario, el ROI proyectado alcanza entre 120 % y 180 % en los primeros tres años, lo que significa que, por cada peso invertido, se obtienen entre 2.2 y 2.8 pesos en ahorros y beneficios económicos directos como se muestra en la Tabla 1.

Adicionalmente, el acceso a cadenas de suministro globales, especialmente en el sector automotriz y de exportación, representa un impacto económico indirecto. La adopción de estándares de sostenibilidad incrementa la posibilidad de contratos con empresas internacionales que exigen prácticas de bajo impacto ambiental, generando un efecto multiplicador en competitividad regional (Marras et al., 2022; Ochi et al., 2023).

Tabla 1. ROI resumido

Concepto	Inversión inicial estimada	Beneficios esperados	ROI a 3 años
Capacitación y rediseño de procesos	\$100,000 MXN	Reducción de costos operativos (15 % anual ≈ \$150,000 MXN)	150 %
Certificaciones en sostenibilidad	\$80,000 MXN	Acceso a nuevos contratos (+\$180,000 MXN)	125 %
Valorización de residuos (circularidad)	\$50,000 MXN	Ingresos por subproductos reciclados (+\$120,000 MXN)	140 %

ROI global proyectado: 120 % – 180 % en 3 años

Se observa cómo la inversión inicial (-100 mil MXN) se recupera alrededor del año 2, momento en que los ahorros acumulados superan la inversión, marcando el punto de retorno de inversión en la Figura 7.

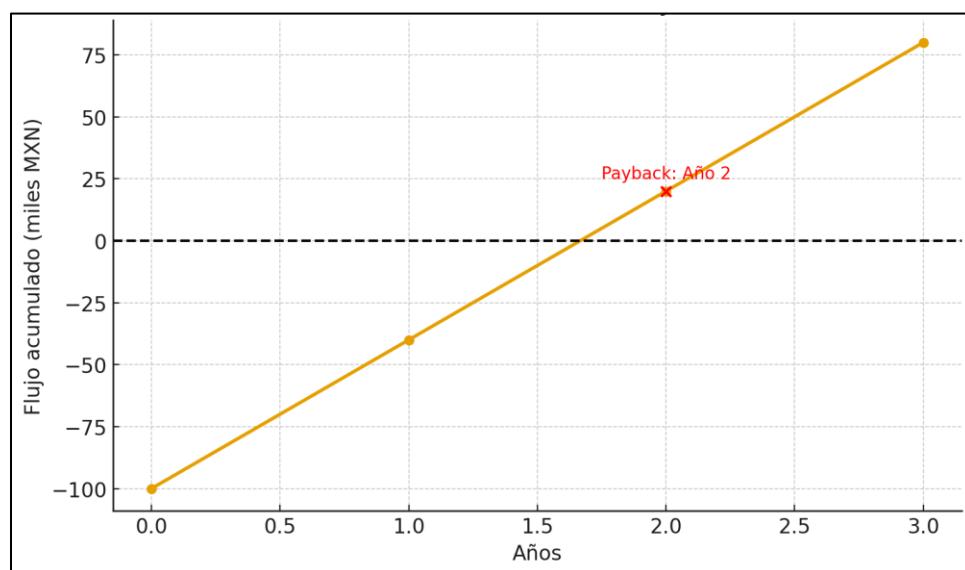


Figura 7. Curva de Retorno de Inversión

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

En conjunto, los resultados permiten dimensionar el panorama actual de las empresas queretanas y constituyen una base sólida para diseñar estrategias orientadas a fortalecer la competitividad, impulsar la innovación y avanzar hacia modelos de producción más sostenibles y resilientes, en concordancia con los desafíos de la industria contemporánea.

DISCUSIONES

El análisis de las empresas ubicadas en los parques industriales de Querétaro permitió identificar avances y limitaciones en la adopción de Lean Manufacturing y Economía Circular, en concordancia con investigaciones recientes en diferentes contextos internacionales (Abenojar et al., 2021; Marras et al., 2022).

En primer lugar, se observa que el 67% de las organizaciones han implementado prácticas vinculadas con sostenibilidad circular, mientras que el 33% permanece en esquemas tradicionales. Estos resultados coinciden con lo documentado por (Gupta et al., 2018), quienes señalan una adopción incipiente de modelos circulares en economías emergentes, particularmente en pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, difieren de lo encontrado por (Ochi et al., 2023) en Japón, donde la adopción de la Economía Circular supera el 80%, impulsada por regulaciones estrictas y programas de apoyo gubernamental. Esta comparación evidencia la necesidad de políticas públicas e incentivos fiscales que aceleren la transición en México, especialmente en las PyMES.

La concentración del 42% de la muestra en el sector automotriz confirma su rol estratégico en la economía regional, en línea con lo planteado por (Kawano et al., 2023), quienes destacan a esta industria como pionera en prácticas de eficiencia energética y reducción de residuos. No obstante, a diferencia de los estudios europeos de (Črešnar et al., 2024), donde la cadena automotriz ha alcanzado altos niveles de circularidad, en Querétaro persisten desafíos relacionados con innovación de materiales, gestión de proveedores y reciclaje postindustrial.

En cuanto a los factores críticos, la cultura organizacional 13% se erige como la principal barrera, seguida de la falta de compromiso directivo y la resistencia al cambio. Estos resultados son consistentes con lo señalado por (Ahmed et al., 2013) y (Awad et al., 2019), quienes concluyen que la gestión del cambio, el liderazgo y la capacitación continua son determinantes en la implementación. Sin embargo, en contraste con lo expuesto por Kim et al. (2023), que identificaron la infraestructura tecnológica como la mayor limitante en Corea del Sur, en el contexto queretano el factor humano y organizacional predomina sobre las barreras técnicas.

Finalmente, el agrupamiento de "Otros factores" 20% revela que diversas barreras secundarias — desde la logística hasta la falta de incentivos generan un impacto acumulado que no debe subestimarse. Este hallazgo concuerda con lo expuesto por (Oluleye et al., 2022), quienes subrayan la necesidad de integrar dimensiones técnicas, regulatorias y culturales para consolidar la sostenibilidad empresarial.

En conjunto, la comparación con la literatura internacional evidencia que, si bien Querétaro avanza hacia modelos más eficientes y responsables, persiste una brecha frente a regiones con marcos regulatorios más sólidos. Para reducirla, es imprescindible articular estrategias integrales que combinen liderazgo, formación especializada, inversión en infraestructura y políticas de apoyo, garantizando que Lean Manufacturing y Economía Circular se consoliden como parte de la cultura organizacional y la visión estratégica de largo plazo de las empresas de la región.



CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Conclusiones

El presente estudio permitió identificar y analizar los factores críticos que condicionan la implementación de las metodologías Lean Manufacturing y Economía Circular en empresas de parques industriales del estado de Querétaro. A través de una metodología combinada documental, descriptiva y de campo, se integró un marco teórico sólido que fue contrastado con evidencia empírica derivada de cuestionarios aplicados a organizaciones de diversos sectores productivos.

Los hallazgos muestran que la cultura organizacional, la falta de implicación de la alta dirección, la resistencia al cambio y la ausencia de procesos internos claramente definidos representan los principales retos para la adopción efectiva de estas metodologías. Estos factores no solo limitan la eficiencia operativa, sino que también constituyen barreras estructurales para avanzar hacia modelos productivos más sostenibles y alineados con estándares internacionales.

Asimismo, se identificaron condiciones adicionales que influyen en la continuidad y efectividad de los proyectos de mejora, como la complejidad de la cadena de suministro, la débil orientación a la sostenibilidad, el escaso liderazgo en proyectos, la poca orientación al cliente y la falta de sistemas de incentivos y reconocimiento. También resultan relevantes la insuficiente infraestructura para la gestión de residuos, la carencia de programas de formación continua, y la necesidad de promover iniciativas educativas que fortalezcan los valores éticos y ambientales dentro de las organizaciones. La omisión de cualquiera de estos aspectos puede comprometer los resultados a largo plazo, incluso en contextos con recursos técnicos adecuados.

Al contrastar los resultados locales con experiencias internacionales de éxito, se evidencian oportunidades para adaptar buenas prácticas globales al contexto queretano, lo cual refuerza la importancia de diseñar estrategias flexibles, realistas y centradas en la gestión del cambio.

En síntesis, para que las empresas de Querétaro logren implementar de manera eficaz Lean Manufacturing y Economía Circular, es indispensable atender tanto la dimensión técnica como los factores humanos y organizacionales. Abordar estas variables desde una visión estratégica y transversal permitirá consolidar una industria más competitiva, innovadora y ambientalmente responsable en la región.

Recomendaciones

1. Impulsar la cultura organizacional mediante programas de sensibilización que refuercen valores de mejora continua, sostenibilidad e innovación, generando un entorno favorable para la adopción de nuevas prácticas.
2. Fortalecer la capacitación del personal con entrenamientos constantes en herramientas de Lean Manufacturing y principios de Economía Circular, priorizando a los niveles operativos y de supervisión para garantizar una aplicación efectiva en el día a día.
3. Asegurar el liderazgo directivo, definiendo objetivos estratégicos claros, estableciendo indicadores de desempeño y comunicando de forma transparente los beneficios esperados de las metodologías.
4. Diseñar planes de gestión del cambio que reduzcan la resistencia interna y promuevan la participación de todos los actores clave dentro de la organización.
5. Adaptar experiencias internacionales a la realidad local mediante ejercicios de benchmarking y análisis de viabilidad, considerando las particularidades de cada empresa y sector.
6. Consolidar vínculos con instituciones educativas y centros de investigación, a fin de promover la transferencia de conocimiento, estimular la innovación y desarrollar soluciones alineadas con el contexto regional.

Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

7. Establecer políticas internas de sostenibilidad que incluyan metas cuantificables en reducción de residuos, reutilización de materiales y optimización de procesos logísticos, integrándolas al plan estratégico empresarial.

La puesta en práctica de estas recomendaciones no solo favorecerá la mejora continua y la competitividad, sino que también contribuirá a posicionar al sector industrial de Querétaro como un referente nacional en eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental, consolidando su papel dentro de los desafíos globales de la industria moderna.

Limitaciones del estudio y líneas de investigación futura

Los resultados obtenidos aportan evidencia significativa sobre la incorporación de metodologías de Lean Manufacturing y Economía Circular en los parques industriales de Querétaro; sin embargo, es necesario reconocer ciertas limitaciones. En primer término, el análisis se focalizó en una muestra localizada, con fuerte predominio del sector automotriz, lo cual restringe la extrapolación de los hallazgos hacia otros ámbitos productivos. De igual manera, la naturaleza transversal de la investigación dificulta evaluar efectos sostenidos en el tiempo, como la permanencia de las mejoras alcanzadas o la evolución del retorno de inversión en horizontes superiores a tres años.

Otro aspecto por considerar es la utilización de información autodeclarada por las organizaciones participantes, lo que puede generar sesgos vinculados a la percepción del grado real de implementación de las prácticas. Además, no se incorporaron de forma diferenciada variables críticas como el tamaño empresarial, la madurez tecnológica o la capacidad de financiamiento, elementos que inciden directamente en los resultados obtenidos.

Con base en dos décadas de experiencia en el análisis de sistemas productivos, se vislumbran varias líneas de investigación futuras. Una primera ruta consiste en replicar este estudio en distintos estados de la República Mexicana para identificar patrones regionales de adopción de enfoques circulares y esbeltos. Asimismo, resulta relevante ampliar el espectro hacia sectores como el textil, el alimentario y el de la construcción, que presentan particularidades en el consumo de recursos y la generación de residuos. También se recomienda el diseño de investigaciones longitudinales que permitan evaluar impactos económicos, ambientales y sociales en períodos superiores a cinco años, incorporando indicadores avanzados como huella de carbono, competitividad internacional y empleo verde.

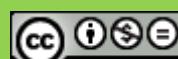
Estas proyecciones fortalecerán una visión más integral y comparativa sobre el potencial de las metodologías analizadas, contribuyendo al impulso de la sostenibilidad y la competitividad del aparato industrial mexicano.

REFERENCIAS

Abenojar, J., Velasco, F., & Martínez, M. (2021). Advances in sustainable materials and circular economy in manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124805. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124805>

Ahmed, S., Hassan, M., Taha, Z., & Al-Ahmari, A. (2013). Lean manufacturing implementation in SMEs: Barriers and challenges. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(2), 159–180. <https://doi.org/10.1108/20401461311319312>

Awad, B., Khoury, S., & Ayyash, K. (2019). Lean manufacturing and sustainability: Barriers in developing countries. *Sustainability*, 11(21), 6006. <https://doi.org/10.3390/su11216006>



Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

Belda, M. (2018). Economía circular: principios y aplicaciones. Editorial Síntesis.

Črešnar, R., Drobne, S., & Prah, K. (2024). Circular economy in the automotive sector: European practices and perspectives. *Sustainability*, 16(3), 1123. <https://doi.org/10.3390/su16031123>

Črešnar, R., Korošec, B., & Auer, A. (2024). *Circular economy adoption in manufacturing: pathways and financial outcomes*. Journal of Cleaner Production, 432, 139876.

de Miguel, C., Martínez, E., Pereira, Á., & Kohout, P. (2021). Integrating Lean Manufacturing and Circular Economy principles in industrial operations. Journal of Cleaner Production, 320, 128849. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128849>

Ellen MacArthur Foundation. (2020). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org>

Gupta, H., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, J. (2018). Barriers and drivers to circular economy implementation in emerging economies. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>

Gupta, S. M., Pochampally, K. K., & Kamarthi, S. V. (2018). *Sustainable supply chains and circular economy: economic implications*. Resources, Conservation & Recycling, 131, 187–196.

Kawano, T., Nakamura, S., & Nakajima, K. (2023). Circular economy strategies in the Japanese automotive industry. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 345–360. <https://doi.org/10.1111/jiec.1332>

Kim, Y., Lee, D., & Park, H. (2023). Technological barriers in implementing circular economy: Evidence from South Korea. *Journal of Cleaner Production*, 410, 137145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137145>

Marras, S., Cutaia, L., & Taddei, M. (2022). Lean and circular economy: Integrated approaches in manufacturing. *Procedia CIRP*, 107, 356–362. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.061>

Marras, S., et al. (2022). *Lean and green practices in industrial clusters: comparative analysis*. Sustainability, 14(21), 14321.

Ochi, K., et al. (2023). *Economic and environmental impacts of lean-circular integration in the automotive sector*. Journal of Manufacturing Systems, 68, 222–234.

Ochi, K., Fujimoto, J., & Suga, Y. (2023). Circular economy adoption in Japan: Policies and industry practices. *Sustainability*, 15(9), 7354. <https://doi.org/10.3390/su15097354>

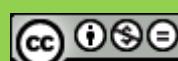
Oluleye, D., Olayanju, T., & Ogunjimi, A. (2022). Multi-dimensional challenges in circular economy adoption. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106198. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106198>

Parlamento Europeo. (2023). Resolución del Parlamento Europeo sobre el Plan de Acción de Economía Circular. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://www.europarl.europa.eu>

Production Tools. (2024). Tendencias globales de manufactura y sostenibilidad. Production Tools Research Institute. <https://www.productiontools.org>

Repsol. (2024). Economía circular: innovación y sostenibilidad en la industria energética. Repsol. <https://www.repsol.com>

Rojas, J., & Soler, R. (2017). Lean Manufacturing: fundamentos y aplicación práctica. Editorial Alfaomega.



Implementación exitosa de lean manufacturing y economía circular: lo que toda empresa debe considerar

Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing paso a paso. Grupo Editorial Patria.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation (2^a ed.). Free Press.

