

Determinantes del éxito en la implementación de *Lean Manufacturing* en maquiladoras mexicanas

Determinants of Success in the Implementation of Lean Manufacturing in Mexican Maquiladoras

Evaristo Torres Herrera¹  y Elías Alvarado Lagunas² 

Artículo de investigación

Recibido: 25/06/2025

Aceptado: 25/11/2025

Publicado: 16/01/2026

Cómo citar este artículo:

Torres Herrera, E., y Alvarado Lagunas, E. (2026). Determinantes del éxito en la implementación de *Lean Manufacturing* en maquiladoras mexicanas. *Administración & Desarrollo*, 56(1), e-1240. <https://doi.org/10.22431/25005227.1240>



ISSN: 0120-3754

e-ISSN: 2500-5227

Resumen

Problemática: la alta competencia global y la presión por elevar la productividad obligan a las pequeñas y medianas empresas maquiladoras a optimizar sus procesos sin comprometer la calidad ni la sostenibilidad.

Objetivo: analizar los factores organizacionales que inciden en el éxito de la implementación del modelo *Lean Manufacturing* (LM) en empresas de Reynosa, Tamaulipas, México. **Metodología:** se utilizó un enfoque cuantitativo con aplicación de encuestas a 84 líderes estratégicos de empresas maquiladoras. Se empleó un modelo de regresión lineal múltiple para evaluar el impacto de cinco variables independientes: compromiso de la alta dirección, capacitación del personal, liderazgo transformacional, enfoque al cliente y colaboración con proveedores. **Resultados:** se encuentra que el liderazgo transformacional, el compromiso de la alta dirección, la capacitación y el enfoque al cliente influyen significativamente en el éxito de la implementación del modelo LM. En cambio, la colaboración con proveedores no mostró un efecto estadísticamente significativo en este contexto. **Conclusión:** el éxito en la implementación del modelo LM depende principalmente de factores internos, especialmente del liderazgo y el compromiso directivo. La adopción de herramientas LM debe ir acompañada de una cultura organizacional adecuada. El estudio aporta evidencia empírica desde el contexto mexicano y propone un modelo replicable para industrias similares.

Palabras clave: *lean manufacturing*, industria maquiladora, liderazgo transformacional, enfoque al cliente.

Abstract

Problem statement: High global competition and pressure to increase productivity are forcing small and medium-sized maquiladora companies to optimize their processes without compromising quality or sustainability..

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Candidato a doctor en filosofía con orientación en administración.

Correo electrónico: evaristo.torresh@uanl.edu.mx

Roles: redacción - borrador original, metodología, investigación, análisis formal, curación de datos, redacción - revisión y edición.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Doctor en ciencias sociales.

Correo electrónico: eliaxalvarado@gmail.com.

Roles: redacción - borrador original, metodología, análisis formal, curación de datos, redacción - revisión y edición.

Objective: To analyze the organizational factors that influence the successful implementation of the Lean Manufacturing (LM) model in companies in Reynosa, Tamaulipas, Mexico. **Methodology:** A quantitative approach was employed, applying surveys to 84 strategic leaders of maquiladora companies. Multiple linear regression analysis was used to assess the impact of five independent variables: top management commitment, employee training, transformational leadership, customer focus, and supplier collaboration. **Results:** The results show that transformational leadership, top management commitment, training, and customer focus significantly influence the successful implementation of the Lean Manufacturing model. In contrast, supplier collaboration did not show a statistically significant effect in this context. **Conclusion:** Success in implementing the Lean Manufacturing model mainly depends on internal factors, especially leadership and top management commitment. The adoption of lean tools must be accompanied by an appropriate organizational culture. The study provides empirical evidence from the Mexican context and proposes a replicable model for similar industries. **Keywords:** lean manufacturing, maquiladora industry, transformational leadership, customer focus.

Introducción

La creciente globalización de los mercados ha generado una transformación significativa en las dinámicas comerciales a nivel internacional, eliminando fronteras económicas y elevando de forma exponencial la competitividad entre organizaciones (Oliveira *et al.*, 2018). Este entorno altamente competitivo ha obligado a las industrias manufactureras, particularmente a las pequeñas y medianas empresas (Pymes) a replantear sus estrategias y adoptar modelos de gestión orientados a la eficiencia operativa, la mejora continua, la colaboración con proveedores y el enfoque al cliente. En este contexto, la implementación del modelo *Lean Manufacturing* (LM) ha cobrado relevancia como una alternativa viable para alcanzar ventajas competitivas sostenibles mediante la eliminación de desperdicios, la optimización de procesos y el aumento del valor para el cliente.

Además, la urgencia por adoptar modelos operativos eficientes globalmente se han acentuado tras los impactos derivados de la pandemia por covid-19. Las disrupciones en las cadenas de suministro, la volatilidad económica y la necesidad de garantizar operaciones resilientes han hecho que LM resurja como una solución viable para minimizar desperdicios, optimizar recursos

y aumentar la productividad, contribuyendo así a la sostenibilidad empresarial en tiempos de incertidumbre (Li, 2024; Ganga *et al.*, 2024; Shichiyakh *et al.*, 2024). Además, la integración de LM con tecnologías digitales propias de la Industria 4.0 ha potenciado sus beneficios, permitiendo la toma de decisiones basada en datos, mejoras continuas más ágiles y una mayor capacidad de adaptación a los cambios del entorno (Gatell y Avella, 2024a; Azian *et al.*, 2025).

De manera complementaria, la adopción de LM también responde a un imperativo global de transición hacia modelos de producción más sostenibles y circulares, que alineen el rendimiento económico con las dimensiones sociales y ambientales (Alshammakhi *et al.*, 2023; Ganga *et al.*, 2024). En este sentido, las prácticas *lean* se consolidan como catalizadores de innovación y eficiencia organizacional, particularmente cuando son respaldadas por la transformación digital y una cultura de mejora continua (Metwally y Buhaya, 2024; Le y Le, 2024).

LM es una metodología de gestión enfocada en mejorar la eficiencia de los procesos productivos mediante la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor, conocidas como desperdicios. Esta filosofía se basa en el principio fundamental de crear más valor para el cliente,

utilizando menos recursos, que se traduce en una operación más ágil, flexible y competitiva. En esencia, su objetivo es optimizar la utilización de tiempo, materiales y capacidades humanas para incrementar la productividad, reducir costos y mejorar la calidad del producto o servicio entregado (Turgay *et al.*, 2023; Rojas *et al.*, 2023).

Entre los elementos centrales de LM se destaca la eliminación de desperdicios, los cuales se clasifican en siete tipos: sobreproducción, tiempos de espera, transporte innecesario, exceso de inventario, movimientos innecesarios, sobreprocesamiento y productos defectuosos. Identificar y erradicar estas ineficiencias permite racionalizar los flujos de trabajo y maximizar el uso de los recursos disponibles (Rojas *et al.*, 2023; Raktate *et al.*, 2024; Riepina, 2023).

Otra característica clave de LM es la mejora continua, también conocida como *kaizen*, que impulsa una cultura organizacional orientada a la optimización constante de procesos. Esta filosofía promueve la participación activa de todo el personal, desde operarios hasta directivos, en la identificación de oportunidades de mejora. Herramientas como 5S (clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina) y mantenimiento productivo total (TPM) son ampliamente utilizadas para fortalecer esta cultura (Turgay *et al.*, 2023; Riepina, 2023).

Dentro de las técnicas operativas del enfoque LM se destacan el Value Stream Mapping (VSM), que permite visualizar todo el flujo de valor desde el proveedor hasta el cliente final, y la producción Just-in-Time (JIT), que busca entregar los productos correctos, en el momento y cantidad adecuados, reduciendo inventarios innecesarios y mejorando la capacidad de respuesta (Rojas *et al.*, 2023; Turgay *et al.*, 2023).

Un elemento transversal de LM es su orientación al cliente. Todas las prácticas y decisiones dentro del sistema están alineadas con la entrega de valor desde la perspectiva del consumidor, lo

que implica diseñar procesos que respondan con rapidez, confiabilidad y calidad a las expectativas del mercado (Riepina, 2023).

Desde una perspectiva práctica, LM ha demostrado ser altamente eficaz en la mejora del desempeño operativo. Organizaciones de distintos tamaños y sectores, incluyendo las pequeñas y medianas empresas manufactureras, han logrado incrementar su productividad, reducir tiempos de ciclo y responder de manera más eficiente a la demanda del mercado (Kumar *et al.*, 2024; Raktate *et al.*, 2024).

Algunos estudios recientes han documentado la relación positiva entre LM y el desempeño ambiental. La reducción en el consumo de materiales, energía y residuos contribuye no solo a la eficiencia económica, sino también a la sostenibilidad ambiental, alineándose con los principios de la economía circular (Gatell y Avella, 2024b; Fortuny *et al.*, 2024).

En la actualidad, LM se aplica en una gran variedad de sectores industriales como: automotriz, aeroespacial, construcción y especialmente en las Pymes. Su integración con tecnologías propias de la Industria 4.0, como la automatización inteligente, el análisis de datos en tiempo real y la interconectividad digital, ha potenciado sus beneficios tradicionales y ha dado paso a conceptos como el Lean Digital o Digital Green Lean (Saraswat *et al.*, 2024; Saad *et al.*, 2023; Kumar *et al.*, 2024).

Ahora bien, para dimensionar el impacto de las eficiencias operativas como el modelo LM y la relevancia de la manufactura de exportación en la economía de cada país, resulta fundamental analizar su participación en la producción manufacturera global. En este sentido, la industria manufacturera de exportación se ha consolidado como uno de los pilares esenciales del crecimiento económico a nivel mundial. De acuerdo con información publicada por la United Nations Statistics Division (UNSD, 2025), en el año

2023 las economías de China, Estados Unidos y Japón concentraron en conjunto el 51,20 % de la manufactura global. En contraste, México aportó el 2,20 % en ese mismo periodo, lo que lo posicionó como el séptimo mayor productor a nivel mundial en el ámbito de la manufactura orientada a la exportación, véase la [figura 1](#).

Con el propósito de comprender la relevancia de las eficiencias operativas en la industria manufacturera de Latinoamérica, este estudio se enfoca en el análisis de pequeñas y medianas empresas mexicanas. En este país, la industria manufacturera ha mostrado un crecimiento sostenido en su contribución al producto interno bruto (PIB) durante las últimas dos décadas. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI, 2025](#)), entre los años 2007 y 2014 este sector representó consistentemente más del 15 % del PIB nacional. A partir de 2015 y hasta 2021, su participación se incrementó en aproximadamente dos puntos porcentuales, superando el 17 %, y entre 2022 y 2024 ha mantenido una contribución superior

al 20 %, alcanzando hasta un 20,8 % en el último año reportado, véase [figura 2](#). Estos indicadores no solo reflejan la estabilidad del sector manufacturero en el país, sino también su creciente importancia como motor económico, especialmente en el contexto de las Pymes orientadas a la exportación.

Con el objetivo de delimitar con mayor precisión el alcance de esta investigación, el estudio se centró específicamente en las industrias manufactureras, maquiladoras y de servicios de exportación (IMMEX) del noreste mexicano. Este enfoque resulta pertinente dado el peso económico y estratégico de este sector dentro del aparato productivo nacional. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI, 2025](#)), al mes de junio de 2025, México contaba con un total de 5192 establecimientos registrados bajo el programa IMMEX, de los cuales el 54,84 % se concentraba en solo cinco estados del norte del país, lo que evidencia una notable densidad geográfica de la industria maquiladora en esta región, véase [figura 3](#).

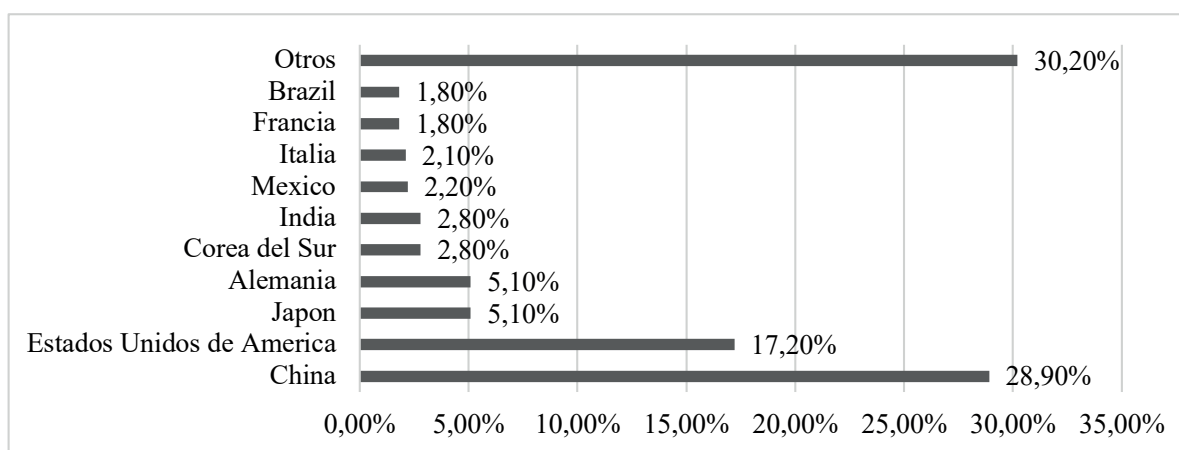


Figura 1. Porcentaje de contribución global a la manufactura de exportación por país en 2023

Fuente: elaboración propia con datos de la UNSD (2025).

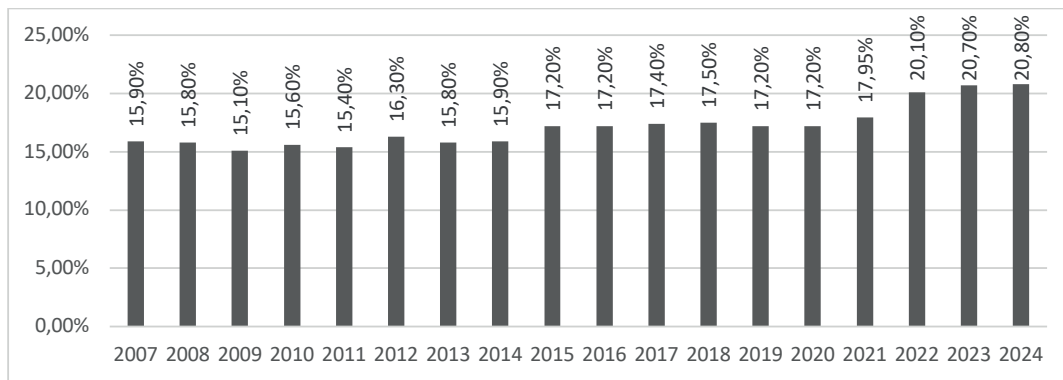


Figura 2. Participación porcentual anual del sector manufacturero al PIB

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2022).

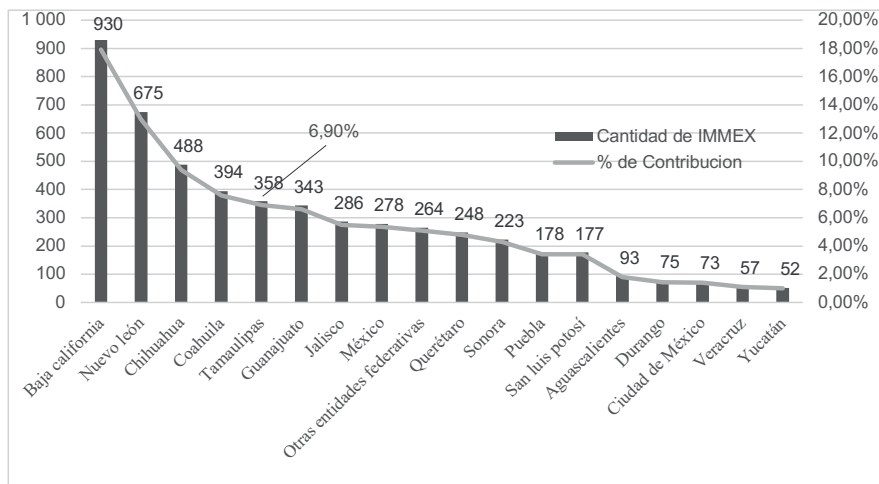


Figura 3. IMEX por estado en 2025

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2025).

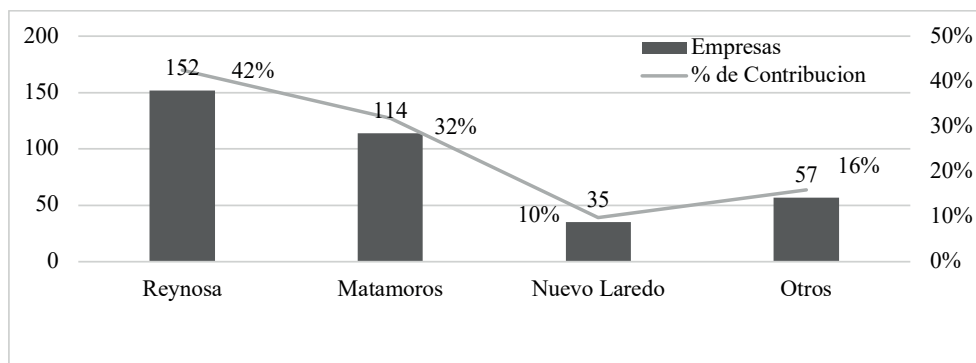


Figura 4. Número de IMEX Activas por municipio en el estado de Tamaulipas (2025)

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2025).

Enfocando el análisis en la región noreste de México, esta investigación se centró particularmente en el estado de Tamaulipas, el cual ocupa el quinto lugar a nivel nacional en número de establecimientos IMEX, con una participación del 6,90 % del total nacional, según datos del INEGI (2025). Para esta entidad, el municipio de Reynosa destaca por su alta concentración industrial, pues alberga aproximadamente el 42 % de las maquiladoras del estado, lo que equivale a 152 establecimientos registrados, véase figura 4. Esta concentración industrial convierte a este municipio en un caso representativo y estratégico para el estudio del modelo LM en el contexto de la industria maquiladora de exportación.

Otro aspecto que justifica la realización de esta investigación en el municipio de Reynosa, Tamaulipas, es la escasa disponibilidad de estudios científicos previos que analicen de manera integral la implementación del modelo LM en este contexto geográfico e industrial específico. Aunque existen investigaciones sobre la adopción del modelo LM en México, pocas han abordado su aplicación a profundidad en la región noreste del país, a pesar de su alta concentración de empresas maquiladoras.

De acuerdo con Pineda (2021), aproximadamente el 45 % de la industria maquiladora en México ha logrado implementar de manera integral el modelo *lean*, considerando no solo herramientas y técnicas específicas, sino también principios fundamentales, una cultura organizacional alineada y un fuerte compromiso por parte del personal. Sin embargo, el 55 % restante ha adoptado LM de forma parcial o selectiva, utilizando únicamente algunas herramientas de manera aislada, lo que limita significativamente los beneficios que una implementación holística puede ofrecer.

En este sentido, Womack y Jones (1996) subrayan que LM no debe entenderse únicamente como un conjunto de herramientas, sino como una metodología integral enfocada en la reducción de desperdicios y la maximización de

la productividad a través de la transformación organizacional. Esta visión es respaldada por Bromsen (2019), quien destaca el caso de éxito de Toyota, pionera en la aplicación global del modelo bajo su versión original conocida como Toyota Production System (TPS). No obstante, Ljungblom y Lennerfors (2021) y Torres y Alvarado (2023) advierten que muchas empresas occidentales han fracasado en sus intentos de implementación precisamente por enfocarse exclusivamente en las herramientas técnicas, sin considerar aspectos culturales, de liderazgo o de compromiso interno, que son igualmente determinantes para su éxito.

Estas evidencias respaldan la pertinencia de realizar un análisis focalizado en el municipio de Reynosa, Tamaulipas, donde la industria maquiladora ofrece un entorno estratégico para examinar el éxito en la adopción del modelo LM. En este marco, el propósito del estudio es identificar los factores críticos que inciden en el éxito de la implementación del modelo (variable Y) en el contexto local, considerando como variables explicativas: X1 = compromiso de la alta dirección, X2 = capacitación del personal, X3 = liderazgo transformacional en la gestión de proyectos, X4 = enfoque al cliente y X5 = colaboración con el proveedor.

Este enfoque permitirá comprender cuáles de estos factores ejercen mayor influencia en el éxito del proceso dentro del sector maquilador de Reynosa. A continuación, abordaremos la definición de éxito en la implementación del modelo LM (Y): se refiere a la capacidad de una organización para aplicar de manera efectiva, integral y sostenible los principios y herramientas *lean*, logrando mejoras duraderas en eficiencia operativa, calidad, tiempos de entrega, satisfacción del cliente y competitividad. Este éxito depende no solo de la adopción técnica de herramientas, sino de la gestión adecuada de factores críticos que permiten consolidar una cultura organizacional de mejora continua alineada con los objetivos estratégicos (Antony

et al., 2021; Buniya *et al.*, 2023; Flores *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2024).

Seguida de la definición de los factores:

- Compromiso de la alta dirección (X1): se refiere a la participación activa, el respaldo estratégico y la asignación de recursos por parte del liderazgo superior de la organización, para impulsar las iniciativas *lean* y promover el cambio cultural necesario (Yuik *et al.*, 2020; Baez *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2024).
- Capacitación del personal (X2): implica proporcionar a los empleados los conocimientos, habilidades y herramientas necesarias para comprender e implementar los principios y métodos *lean* de manera efectiva (Flores *et al.*, 2020; Baez *et al.*, 2023).
- Liderazgo transformacional en la gestión de proyectos (X3): hace referencia a líderes que inspiran y motivan a sus equipos durante los procesos de cambio, fomentando una cultura organizacional basada en la mejora continua y la innovación (Yuik *et al.*, 2020; Baez *et al.*, 2023).
- Enfoque al cliente (X4): consiste en alinear todos los esfuerzos y procesos internos para satisfacer las necesidades del cliente final, entregando productos y servicios de alta calidad de forma confiable y oportuna (Baez *et al.*, 2023; Flores *et al.*, 2020).
- Colaboración con proveedores (X5): se refiere al establecimiento de relaciones estratégicas con proveedores clave para asegurar entregas puntuales, materiales de calidad e integración de prácticas *lean* en toda la cadena de suministro (Phanden *et al.*, 2023; Flores *et al.*, 2020).

Estudios recientes respaldan empíricamente la influencia de los factores críticos de éxito (X1–X5) en el logro del éxito (Y) y en la implementación del modelo LM.

Uno de los estudios más relevantes es el de Baez *et al.* (2023), realizado en el sector de manufactura de equipos de transporte en México. Este trabajo utilizó un instrumento validado y modelos de ecuaciones estructurales para demostrar que los factores: compromiso de la alta dirección (X1), capacitación (X2), liderazgo transformacional en proyectos (X3), enfoque al cliente (X4) y colaboración con el proveedor (X5) presentan efectos positivos y significativos ($p < 0,05$) sobre los beneficios del proyecto *lean* (Y). Además, se identificó que el liderazgo actuó como mediador entre el compromiso directivo y el éxito del proyecto.

En el contexto industrial hindú, Desai y Parmar (2020) realizaron un estudio en una empresa de componentes eléctricos, utilizando la técnica fuzzy DEMATEL. Este estudio confirmó que el compromiso de la alta dirección y la colaboración con proveedores fueron los factores más influyentes para la implementación sostenible de Lean Six Sigma, reforzando la importancia de X1 y X5, aunque sin detallar efectos estadísticos específicos.

Por otro lado, Qureshi *et al.* (2023) exploraron la preparación para la Industria 4.0 en Pymes mediante la integración de Lean 4.0, destacando que las prácticas blandas como el liderazgo directivo (X1), el enfoque al cliente (X4) y la capacitación (X2) tienen una influencia positiva y significativa ($p < 0,05$) sobre la preparación tecnológica y operativa para *lean*, alineándose con la variable dependiente Y.

En el caso de Maqueira *et al.* (2023), se estudiaron 273 empresas españolas, encontrando una relación estadísticamente significativa entre la colaboración con proveedores (X5) y el desempeño estratégico de la cadena de suministro *lean* (LSCM), lo que refuerza el impacto de este factor en contextos competitivos.

Todos estos estudios convergen en demostrar que los factores X1 a X5 desempeñan un papel

fundamental en el éxito de la implementación de LM (Y). Reflejando en general efectos estadísticamente significativos ($p < 0.05$), validando el uso de estos factores como componentes clave en modelos empíricos como el propuesto en esta investigación.

Metodología

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo, apoyado en la recopilación y análisis de datos empíricos para identificar los factores que influyen en el éxito de la implementación de LM en la industria maquiladora de Reynosa, Tamaulipas. A partir de la pregunta central —¿cuáles son los factores que influyen en el éxito de la implementación de LM en Reynosa?— se estableció como objetivo general determinar dichos factores y estructurar un modelo explicativo que contribuya a impulsar la adopción exitosa del enfoque *lean* en esta región.

La investigación se desarrolló en cuatro fases. Primero, se efectuó una revisión documental y bibliográfica para identificar antecedentes teóricos y empíricos y derivar las variables críticas. Segundo, se operacionalizaron los constructos en ítems observables y medibles y se elaboró un cuestionario estructurado con escala tipo Likert, siguiendo buenas prácticas para estudios cuantitativos y de encuesta (Creswell y Hirose, 2019), y criterios de operacionalización de conceptos en indicadores (Piwowar, 2020). El instrumento considera cinco variables independientes —X1, compromiso de la alta dirección; X2, capacitación; X3, liderazgo transformacional; X4, enfoque al cliente; y X5, colaboración con el proveedor— y una variable dependiente Y, éxito de la implementación de LM. Tercero, un panel de expertos evaluó relevancia, claridad y coherencia de los ítems, con ajustes que robustecieron la validez de contenido. Cuarto, se realizó una prueba piloto con 33 participantes del mismo perfil, para verificar comprensión y confiabilidad (alfa de Cronbach); los resultados confirmaron

consistencia interna adecuada y permitieron proceder al trabajo de campo.

El diseño fue no experimental y transeccional, dado que no se manipularon variables y el levantamiento se efectuó en un solo periodo. La población objetivo estuvo integrada por personal estratégico de organizaciones IMEX en Reynosa (gerencias de calidad, producción, planta y operaciones; ingenieros/as de procesos y mejora continua; supervisores/as y líderes de proyecto) con experiencia directa en la implementación de *lean*. Se aplicó muestreo intencional bajo dicho criterio.

Para el tamaño de muestra, se identificaron 152 sitios asociados a empresas IMEX en Reynosa; tras depurar 25 sucursales duplicadas, la población efectiva quedó en $N = 127$ organizaciones. El tamaño muestral se estimó con la fórmula de Cochran (1977) para proporciones en poblaciones finitas (nivel de confianza 95 %, $Z = 1.96$; $P = 0.5$, $Q = 0.5$; error $d = 0.10$):

Al aplicar los datos de esta investigación en la ecuación (1), derivada del método propuesto, se tiene (Rositas, 2014):

$$n = \frac{NPQ}{(N-1)\left(\frac{d}{Z}\right)^2 + PQ} \quad 1$$

Donde los datos de esta investigación son:

N = tamaño de la población = 127

n = tamaño de la muestra

d = error tolerado en porcentaje estimado = 0,1

P = proporción del evento de interés = 0,5

Q = complemento de $P = 0.5$

Z = es el valor de la distribución normal estandarizada = 1,96, para tener un intervalo de confianza del 95 %

Sustituyendo los valores en la ecuación (2):

$$n = \frac{(127)(0.5)(0.5)}{(127-1)\left(\frac{0.1}{1.96}\right)^2 + (0.5)(0.5)} \quad 2$$

El tamaño de la muestra da como resultado 54,9319, valor que fue redondeado a 55 organizaciones.

El análisis de datos se realizó en dos etapas. Primero, estadística descriptiva para caracterizar la muestra y explorar patrones (frecuencias, medidas de tendencia y dispersión). Segundo, regresión lineal múltiple (RLM) como técnica principal de inferencia para estimar el efecto específico de cada factor (X1–X5) sobre el éxito (Y) y valorar significancia, bondad de ajuste y posibles colinealidades. El tratamiento incluyó análisis exploratorio y verificación de supuestos: normalidad de residuos, linealidad, independencia y homocedasticidad (residuos aproximadamente aleatorios alrededor de cero en el gráfico de residuos vs. ajustados). El procesamiento se efectuó en IBM SPSS Statistics v29.

Para la confiabilidad, se calculó el alfa de Cronbach por constructo; valores $\geq ,70$ se consideraron aceptables, de acuerdo con la literatura psicométrica (Ventura y Peña, 2021). Los resultados se presentan en la [tabla 1](#) y muestran consistencia interna adecuada en todas las escalas.

Análisis

Con base en 84 cuestionarios válidos (provenientes de informantes de 55 organizaciones; ver Metodología), se procedió al análisis de datos para contrastar las hipótesis del estudio. Primero, se

aplicó estadística descriptiva, fundamental para estructurar y sintetizar la información y comprender el comportamiento de las variables y el contexto. Esta etapa permite identificar patrones, definir rangos y contextualizar los resultados para el análisis inferencial posterior, reforzando la validez de los hallazgos (Murphy, 2021).

Además, como señalan Credé y Harms (2021), la estadística descriptiva ofrece una base robusta para la aplicación de métodos analíticos más sofisticados, ya que permite al investigador interpretar de forma más precisa las características de la muestra y las condiciones del fenómeno analizado, aspecto especialmente relevante en estudios aplicados al sector industrial como el presente.

En este sentido, se analizaron estadísticos descriptivos de las variables demográficas de los participantes de la industria maquiladora de Reynosa, contribuyendo a comprender mejor el perfil de quienes implementan el modelo LM en este contexto.

Con el objetivo de representar gráficamente la información obtenida, se emplearán diagramas de Sankey, los cuales constituyen una herramienta visual útil para el análisis de flujos. En este tipo de representación, el grosor de los enlaces es proporcional a la magnitud del flujo que describen. Aunque inicialmente fueron desarrollados para el análisis energético, su

Tabla 1. Resultados del análisis de confiabilidad de las variables

Variable	Ítems	Alfa de Cronbach
Y1: Éxito de implementación del modelo LM	6	0,882
X1: Compromiso de la alta dirección	5	0,904
X2: Capacitación	5	0,857
X3: Liderazgo transformacional	5	0,846
X4: Enfoque al cliente	5	0,805
X5: Colaboración con el proveedor	5	0,743

Fuente: elaboración propia.

uso se ha extendido a diversos campos como la educación, la bibliometría y la ingeniería, debido a su eficacia para visualizar sistemas complejos y relaciones multivariadas, facilitando así la interpretación y toma de decisiones en procesos de planificación (Templ, 2023).

Investigaciones recientes han evidenciado la utilidad de los diagramas de Sankey en el ámbito científico mediante herramientas como RStudio. En esta investigación se utilizará esta herramienta para representar la caracterización demográfica de los participantes y sus organizaciones. Esta visualización facilitará no solo una interpretación más clara y accesible de los datos, sino también la detección de trayectorias, agrupamientos y relaciones que podrían pasar desapercibidos mediante un análisis tabular convencional.

Analizando las características demográficas de los sujetos encuestados, se observa que la mayoría de los participantes ocupa cargos gerenciales o de supervisión; se destaca el puesto de gerente de planta (21,4 %), seguido por supervisores, gerentes de calidad y producción (17,9 % cada uno). En cuanto a la edad, los grupos de 25 a

35, 36 a 46 y 47 a 57 años están distribuidos de forma equilibrada. El nivel educativo predominante es licenciatura (73,8 %), mientras que el 26,2 % cuenta con posgrado, lo cual refleja un perfil profesional calificado en los niveles medios y altos (figura 5).

Revisando las características de las industrias y años con LM, el 89,3 % de las maquiladoras encuestadas son grandes empresas (más de 250 empleados), y el 10,7 % medianas. La industria electrónica lidera con 36,9 %, seguida de la automotriz con 25 %. Respecto al tiempo de adopción del modelo LM, el 63,1 % lo implementó hace más de diez años, el 28,6 % entre cinco y diez, y solo el 1,2 % en los últimos dos años, lo que refleja una trayectoria consolidada en mejora continua (figura 6).

A continuación, se presentan los estadísticos descriptivos de los factores de éxito para la implementación de LM en la industria maquiladora; se puede inferir que todos los factores analizados presentan medias superiores a 3, lo que refleja una percepción favorable entre los encuestados. El liderazgo transformacional destaca como el

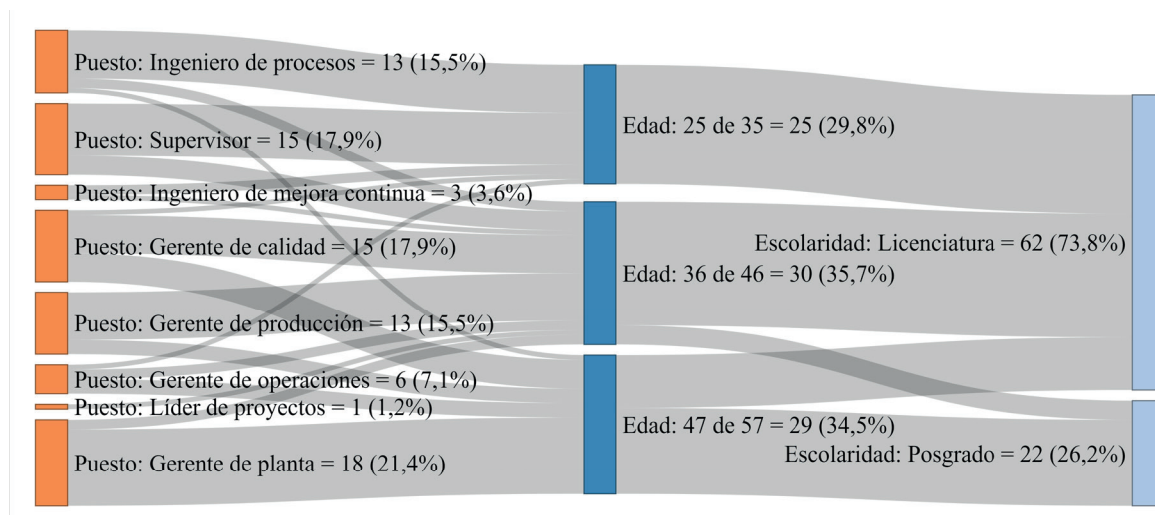


Figura 5. Diagramas Sankey demográfico de los sujetos encuestados

Fuente: elaboración propia con datos recolectados a través del instrumento de investigación.

factor mejor valorado, con una media de 4,08, mientras que la colaboración con el proveedor obtuvo la media más baja 3,65; esto indica que este elemento tiene un menor efecto en la población analizada (tabla 2).

Ahora se procederá a realizar un modelo RLM, para el cual, según Jankovic (2022), hay que verificar que se cumplan ciertos supuestos estadísticos que garantizan la validez de los resultados. Estos supuestos incluyen la normalidad de los residuos, que implica que las diferencias entre los valores

observados y los predichos deben seguir una distribución normal. También se debe comprobar la linealidad, es decir, que exista una relación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente. Otro aspecto importante es la ausencia de colinealidad, la cual se evalúa mediante el factor de inflación de la varianza (VIF); un valor por debajo de 10 indica que no hay una correlación excesiva entre las variables predictoras. Además, se requiere que exista homocedasticidad, lo que significa que la varianza de los errores se mantiene constante a lo largo

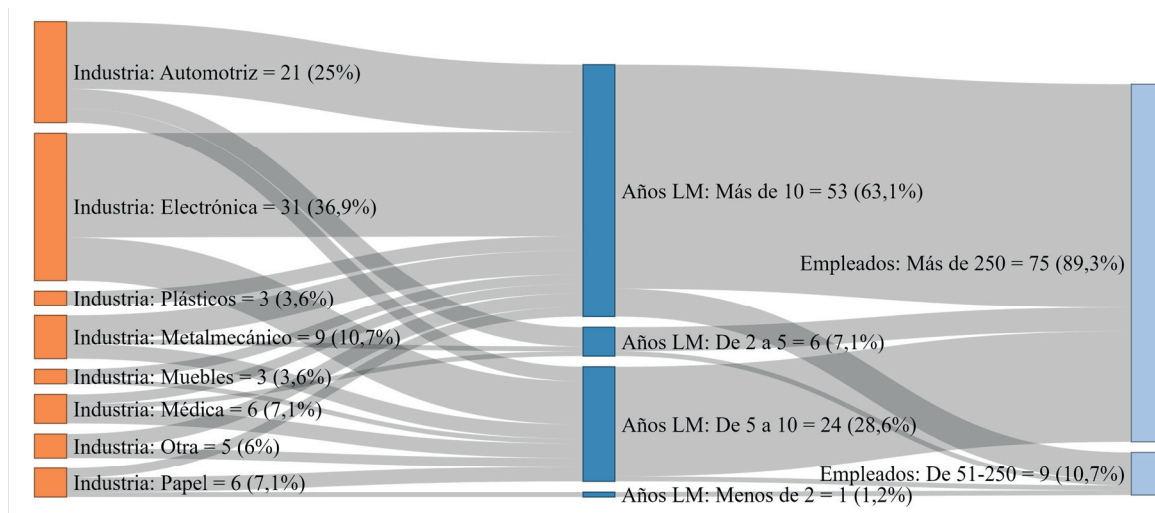


Figura 6. Diagramas Sankey de las características de las industrias y años con LM

Fuente: elaboración propia con datos recolectados a través del instrumento de investigación.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del éxito de implementación del modelo LM

Factor	Muestra	Variables	Media	Desviación estándar	Varianza
X1: Compromiso de la alta dirección	84	5	3,8810	0,68591	0,470
X2: Capacitación	84	5	3,8595	0,75588	0,571
X3: Liderazgo transformacional	84	5	4,0833	0,65507	0,429
X4: Enfoque al cliente	84	5	3,8976	0,79304	0,629
X5: Colaboración con el proveedor	84	5	3,6500	0,66577	0,443
Y1: Éxito de implementación del modelo LM	84	6	3,4306	0,53911	0,291

Fuente: elaboración propia utilizando IBM-SPSS.

de los valores de las variables independientes. Finalmente, la adecuación del modelo se evalúa utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y el coeficiente de determinación R^2 , que indica la proporción de variabilidad explicada por el conjunto de predictores. Estas comprobaciones permiten asegurar la confiabilidad del modelo antes de realizar inferencias o interpretar resultados.

El supuesto de normalidad establece que los errores o residuos del modelo de regresión deben seguir una distribución normal. Para comprobar este supuesto, se empleó la prueba estadística no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov sobre los residuos no estandarizados del modelo, que al ser evaluada obtuvo un valor de significancia asintótica bilateral de 0,058, siendo superior al umbral de 0,05. Este resultado es consistente con los criterios establecidos para aceptar la normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual indica que si el valor p es superior a 0,05, no se rechaza la hipótesis nula de que los datos

siguen una distribución normal (Habibzadeh, 2024; Adetunji, 2025; Hasiloglu y Hasiloglu, 2023).

Confirmar la linealidad en la regresión múltiple implica que los cambios en la variable dependiente sean proporcionales a los cambios en las variables independientes, lo que permite que las estimaciones de los coeficientes reflejen cambios constantes. Para verificar este supuesto, se utilizó un gráfico de dispersión de los residuos tipificados frente a los valores pronosticados tipificados, ver figura 7, donde se observa una distribución aleatoria de los puntos alrededor de la línea horizontal, lo que indica que el supuesto de linealidad se cumple.

Para determinar la independencia de los errores en el modelo de regresión, se aplicó la prueba de Durbin-Watson. El valor obtenido fue de 2,301, que se encuentra dentro del rango aceptado, entre 1,5 y 2,5, lo que indica ausencia de autocorrelación y, por tanto se cumple el supuesto

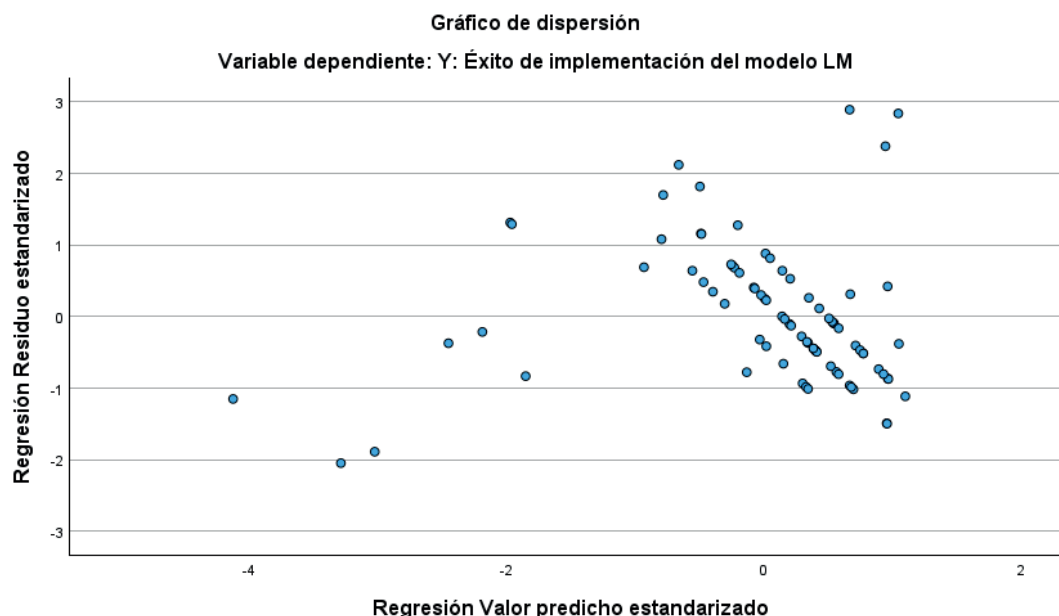


Figura 7. Gráfica de dispersión de los Y: Residuos tipificados y X: Pronosticados tipificados

Fuente: elaboración propia utilizando IBM-SPSS.

de independencia de residuos (Shukor, 2021; Manogaran *et al.*, 2021). Esta condición es fundamental para garantizar la validez de las inferencias estadísticas derivadas del modelo.

La homocedasticidad es un supuesto fundamental en la regresión lineal múltiple, pues establece que los errores del modelo presentan una variabilidad constante en todos los niveles de las variables independientes. Esto implica que la dispersión de los residuos se mantiene uniforme a lo largo de los valores pronosticados. Para verificar este supuesto, se examinó un gráfico de dispersión entre los residuos tipificados (Z_{RESID}) y los valores ajustados tipificados (Z_{PRED}). La distribución aleatoria y sin patrones sistemáticos observada en la figura 8 indica que se cumple el criterio de homocedasticidad, asegurando así la validez y

eficiencia de las estimaciones del modelo (Yang *et al.*, 2019).

Se verificó el cumplimiento del supuesto de no colinealidad mediante la revisión del factor de inflación de la varianza (VIF) y la tolerancia. Los resultados en la tabla 3 muestran que todos los VIF se encuentran entre 1,478 y 2,118, y las tolerancias entre 0,472 y 0,676, lo cual indica ausencia de colinealidad, ya que los valores de VIF se encuentran por debajo de 10 y las tolerancias son superiores a 0,10, cumpliendo así con los criterios aceptados por O'Brien (2007). Si bien se reconocen las limitaciones del VIF tradicional, como su sensibilidad a valores atípicos, los indicadores en este estudio no sugieren colinealidad problemática, lo que respalda la validez inicial del modelo.

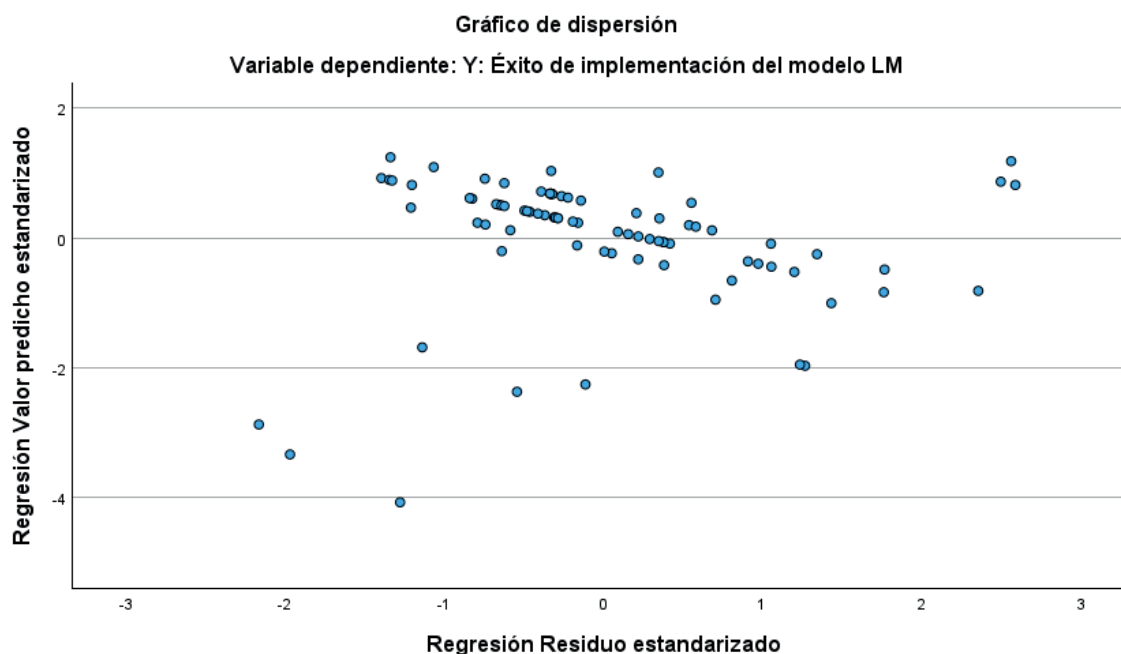


Figura 8. Gráfica de dispersión de los Y: Pronosticados tipificados y X: Residuos tipificados

Fuente: elaboración propia utilizando IBM-SPSS

Una vez validados los supuestos del modelo se procedió a evaluar su ajuste global mediante el ANOVA, que permite determinar si el conjunto de predictores explica significativamente la variación de la variable dependiente. La prueba ANOVA arrojó un valor F de 56,029 con una significancia de $p < ,001$, ver [tabla 4](#), indicando que el modelo cumple con los criterios para ser estadísticamente significativo ([Adhikari, 2022](#)).

Analizando también el modelo, resulta que R^2 ajustada es igual a 0,768, con un error estándar de 0,25953, ver [tabla 5](#), lo cual confirman la solidez del modelo y su capacidad para explicar el 76,8 % de la varianza observada, cumpliendo con los criterios establecidos para la regresión lineal múltiple ([Zwinderman y Cleophas, 2021](#)).

Tabla 3. Resumen de resultados de factor de inflación de la varianza y tolerancia

Factor	Coeficiente No estandarizado		Coeficiente Estandarizado	Sig.	Estadísticas de colinealidad	
	Beta	Desv. Error	Beta		Tolerancia	VIF
(Constante)	0,084	0,211		0,69		
X1: Compromiso de la alta dirección	0,192	0,05	0,245	<,001	0,677	1,478
X2: Capacitación	0,222	0,05	0,312	<,001	0,565	1,771
X3: Liderazgo transformacional	0,163	0,063	0,198	0,012	0,473	2,113
X4: Enfoque al cliente	0,181	0,047	0,267	<,001	0,591	1,692
X5: Colaboración con el proveedor	0,101	0,053	0,124	0,061	0,651	1,535

Fuente: elaboración propia utilizando IBM-SPSS.

Tabla 4. Resultados de análisis de variación

Modelo 1	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	18,869	5	3,774	56,029	<,001
Residuo	5,254	78	0,067		
Total	24,123	83			

Fuente: elaboración propia utilizando IBM-SPSS.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos del éxito de implementación del modelo LM

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,884a	0,782	0,768	0,25953	2,301

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Con base en la investigación y análisis, se llegó a los siguientes resultados donde, de manera estadística, se puede inferir que las variables X1, Compromiso de la alta dirección; X2, Capacitación; X3, Liderazgo transformacional; y X4, Enfoque al cliente influyen de manera positiva en la implementación exitosa del modelo de LM en la industria maquiladora de exportación de Reynosa, Tamaulipas, y la variable X5, Colaboración con el proveedor, no es una variable significativa en la implementación del modelo, ver [tabla 6](#).

Substituyendo los valores de las betas estandarizadas del siguiente modelo (ver ecuación 3):

$$Y = 0,245X_1 + 0,312X_2 + 0,198X_3 + 0,267X_4 + 0,125X_5 + e \quad 3$$

Discusión

Los resultados evidencian que el éxito en la implementación del modelo LM en la industria maquiladora de Reynosa, Tamaulipas, está fuertemente asociado al compromiso directivo, al ejercicio de un liderazgo transformacional, a la capacitación adecuada de los empleados y a un enfoque centrado en las necesidades del cliente. Estos factores presentaron una relación positiva con la implementación efectiva del modelo. Por el contrario, la colaboración con proveedores no

mostró un nivel de significancia estadística, lo que sugiere una influencia limitada en este contexto específico. Esta limitada influencia puede explicarse mediante tres marcos teóricos contemporáneos. Desde las dimensiones culturales de Hofstede, características como la alta distancia al poder y el colectivismo predominante en México pueden restringir la colaboración externa y favorecer estructuras jerárquicas que dificultan la flexibilidad operativa requerida por LM ([Correa da Cunha et al., 2023](#)).

Asimismo, el modelo de cultura organizacional de Denison señala que una orientación excesiva hacia la consistencia y el control interno, común en algunas maquiladoras, puede obstaculizar la adaptabilidad necesaria para implementar enfoques LM ([Vargas y Yagüe, 2024](#)). Por su parte, desde la perspectiva de la cadena de valor de Porter, el énfasis operativo en la eficiencia interna suele dejar en segundo plano la gestión estratégica de proveedores, limitando el aprovechamiento de su potencial como aliados clave en procesos de mejora continua ([López y Huamán, 2024](#)).

Conclusiones

Los hallazgos de este estudio confirman que la implementación efectiva del modelo LM en el contexto latinoamericano, específicamente en la industria maquiladora de Reynosa, depende principalmente del compromiso directivo, el liderazgo transformacional, la capacitación

Tabla 6. Resultado final de la prueba de hipótesis

Factor	Valor Beta Std	Significancia	Resultados
X1: Compromiso de la alta dirección	0,245	<,001	Aprobado
X2: Capacitación	0,312	<,001	Aprobado
X3: Liderazgo transformacional	0,198	0,012	Aprobado
X4: Enfoque al cliente	0,267	<,001	Aprobado
X5: Colaboración con el proveedor	0,124	0,061	Rechazado

Fuente: elaboración propia.

continúa y el enfoque al cliente. Estos elementos demostraron tener una influencia estadísticamente significativa sobre el éxito del modelo. En contraste, la colaboración con proveedores no resultó ser un factor determinante, lo que sugiere que, en este entorno cultural y organizacional, las estrategias internas siguen prevaleciendo sobre las alianzas externas. Se recomienda que futuras investigaciones analicen más a fondo los vínculos interorganizacionales en Latinoamérica, considerando las influencias culturales, estructurales y operativas que podrían estar limitando una colaboración más efectiva con los proveedores en contextos *lean*.

Referencias

- Adetunji, A. (2025). Type 1 error rate of some normality tests. *Journal of Multidisciplinary Science: MI-KAILALSYS*, 3(1), 5234. <https://doi.org/10.58578/mikailalsys.v3i1.5234>
- Adhikari, G. (2022). Interpreting the basic results of multiple linear regression. *Scholars' Journal*, 5(1), 22-37. <https://doi.org/10.3126/scholars.v5i1.55775>
- Alshammakhi, Y., Mohammed, A., Mazher, K., y Ghaithan, A. (2023). Integrated impact of circular economy, Industry 4.0, and lean manufacturing on sustainability performance of manufacturing firms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065119>
- Antony, J., Barclay, R., Shetty, S., y Cudney, E. (2021). Determining critical success factors for lean implementation. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33, 818-832. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1894919>
- Azian, A., Ibrahim, D., Mamat, R., y Abu, F. (2025). Lean Manufacturing and Industry 4.0: Unveiling trends, applications, and global impacts in manufacturing through comprehensive literature review. *Jurnal Kejuruteraan*, 37(1). [https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37\(1\)-10](https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37(1)-10)
- Baez, Y., Tlapa, D., Limón, J., De La Vega, M., Macías, S., y Chávez, E. (2023). Modeling critical success factors of Lean strategy in the manufacturing industry. *Systems*, 11(10), 490. <https://doi.org/10.3390/systems11100490>
- Bromsen, A. (2019). *Condescending saviors: union substitution at Toyota Motor Manufacturing Kentucky (TMMK)* [Tesis doctoral, Wayne State University]. ProQuest. <https://www.proquest.com/openview/f849896468125e8c67e4f4e009d-c1822/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&-diss=y>
- Buniya, M., Mewada, B., Qureshi, K., y Qureshi, M. (2023). Analyzing critical success factors of Lean 4.0 implementation in small and medium enterprises for sustainable manufacturing supply chain for Industry 4.0 using PLS-SEM. *Sustainability*, 15(6), 5528. <https://doi.org/10.3390/su15065528>
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Correa da Cunha, H., Singh, V., y Farrell, C. (2023). Host country cultural profile and the performance of foreign subsidiaries in Latin America. *International Journal of Cross Cultural Management*, 23(3), 531-555. <https://doi.org/10.1177/14705958231204728>
- Credé, M., y Harms, P. D. (2021). Three cheers for descriptive statistics—and five more reasons why they matter. *Industrial and Organizational Psychology*, 14(4), 486-488. <https://doi.org/10.1017/iop.2021.110>
- Creswell, J. W., y Hirose, M. (2019). Mixed methods and survey research in family medicine and community health. *Family medicine and community health*, 7(2), 1-6. <https://doi.org/10.1136/fmch-2018-000086>
- Desai, T., y Parmar, P. (2020). Evaluating Sustainable Lean Six Sigma enablers using fuzzy DEMATEL: A case of an Indian manufacturing organization. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121802>
- Flores, D., Maldonado, A., Tlapa, D., Borbón, M., De La Vega, M., Limón, J., y Baez, Y. (2020). Lean Manufacturing critical success factors for the transportation equipment manufacturing industry in Mexico. *IEEE Access*, 8, 168534-168545. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3023633>

- Fortuny, J., Ruiz, P., Zubeltzu, E., y Luján, I. (2024). Lean manufacturing and environmental performance: A meta-analytic approach. *International Journal of Lean Six Sigma*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2023-0190>
- Ganga, G., Filho, M., y Sasso, R. (2024). Synergizing lean management and circular economy: Pathways to sustainable manufacturing. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.2962>
- Gatell, I., y Avella, L. (2024a). Impact of Industry 4.0 and circular economy on lean culture and leadership: Assessing digital green lean as a new concept. *European Research on Management and Business Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2023.100232>
- Gatell, I., y Avella, L. (2024b). A maturity model for assessing digital green lean leadership and culture implementation in manufacturing companies. *Total Quality Management & Business Excellence*, 35, 860–897. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2347373>
- Habibzadeh, F. (2024). *Data distribution: Normal or abnormal?* *Journal of Korean Medical Science*, 39, e35. <https://doi.org/10.3346/jkms.2024.39.e35>
- Hasiloglu, S., y Hasiloglu-Ciftciler, M. (2023). *What should be the measure of conformity to normal distribution (normality) test in Likert type digital and face-to-face survey data?* *Journal of Internet Applications and Management*, 14(1). <https://doi.org/10.34231/iuyd.1346463>
- INEGI. (15 de febrero de 2025). *Producto interno bruto por actividades secundarias*. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?t=87&ag=00#D87>
- Jankovic, S. (2022). The multivariate statistical analysis – Multiple linear regression. *International Journal on Biomedicine and Healthcare*, 10(4), 173–175. <https://doi.org/10.5455/ijbh.2022.10.173-175>
- Kumar, A. S., Babu, R. V., Paranitharan, K. P., y Kumar, K. S. (2024). Lean implementation in manufacturing SMEs: A systematic review. *AIP Conference Proceedings*, 2935(1), 020010. <https://doi.org/10.1063/5.0198915>
- Le, T., y Le, H. (2024). Linking smart manufacturing technologies and sustainable corporate performance: Evidence from emerging economy. *Operations Management Research*. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00525-w>
- Ljungblom, M., y Lennerfors, T. T. (2021). The lean principle respect for people as respect for craftsmanship. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(6), 1209–1230. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2020-0085>
- Li, Q. (2024). Discussion on the shortcomings and countermeasures of lean management in manufacturing industry in the Industry 4.0 era. *Scientific Journal of Economics and Management Research*, 6(9), 1–12. <https://doi.org/10.54691/a91rts90>
- López, C. F., y Huamán, L. A. (2024). Cadena de valor: modelo de gestión para la formación inicial del profesorado. *Formación universitaria*, 17(2), 47–60. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062024000200047>
- Maqueira, J., Garcia, N., Romano, P., Molinaro, M., y Moyano, J. (2023). Strategic supplier performance in a competitive landscape: Enhancing organizational performance through lean supply chain management. *BRQ Business Research Quarterly*, 28, 474–490. <https://doi.org/10.1177/23409444231210566>
- Manogaran, M., Abubakar, U., Aisami, A., y Shukor, M. (2021). Test for the presence of autocorrelation in the Morgan-Mercer-Flodin (MMF) model used for modelling the total number of COVID-19 cases for Brazil. *Bulletin of Environmental Science and Sustainable Management*, 5(1), 32–36. <https://doi.org/10.54987/bessm.v5i1.589>
- Metwally, A., y Buhaya, M. (2024). The interplay between digital technologies and sustainable performance: Does lean manufacturing matter? *Sustainability*, 16(22), 10002. <https://doi.org/10.3390/su162210002>
- Murphy, K. R. (2021). In praise of Table 1: The importance of making better use of descriptive statistics. *Industrial and Organizational Psychology*, 14(4), 461–477. <https://doi.org/10.1017/iop.2021.90>
- O'Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41(5), 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>

- Oliveira, B., Alves, A. C., Carneiro, P., y Ferreira, A. C. (2018). Lean Production and Ergonomics: a synergy to improve productivity and working conditions. *International Journal of Occupational and Environmental Safety*, 2(2), 1–11. https://doi.org/10.24840/2184-0954_002.002_0001
- Phanden, R., Kumar, S., Jayaraman, R., Swarnakar, V., Khanduja, D., y Antony, J. (2023). Analyzing critical success factors of Lean Six Sigma for implementation in Indian manufacturing MSMEs using best-worst method. *Benchmarking: An International Journal*, 31(9), 2960–2983. <https://doi.org/10.1108/bij-08-2022-0540>
- Pineda, J. A. C. (2021). Adopción parcial e integral de las prácticas del sistema técnico de Lean en la industria maquiladora de manufactura en México. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 11(30), 28-50. <https://doi.org/10.36677/recai.v11i30.16919>
- Piowar, K. (2020). Pro-environmental organizational culture: Its essence and a concept for its operationalization. *Sustainability*, 12(10), 4197. <https://doi.org/10.3390/su12104197>
- Qureshi, K., Qureshi, M., Mewada, B., y Kaur, S. (2023). Assessing Lean 4.0 for Industry 4.0 Readiness Using PLS-SEM towards Sustainable Manufacturing Supply Chain. *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/3950>
- Raktate, O., Jha, V. C., y Vanarotti, M. B. (2024). Productivity improvement in the manufacturing industry through the implementation of LM tools. *AIP Conference Proceedings*, 3178(1), 070003. <https://doi.org/10.1063/5.0229539>
- Riepina, I. (2023). Using the lean manufacturing methodology to improve the quality of the enterprise's business processes. *Management*, 37(1), 39–49. <https://doi.org/10.30857/2415-3206.2023.1.4>
- Rojas, T., Mula, J., y Sanchis, R. (2023). Quantitative modelling approaches for lean manufacturing under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 62(16), 5989–6015. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2293138>
- Rositas, J. (2014). Los tamaños de las muestras en encuestas de las ciencias sociales y su repercusión en la generación del conocimiento (Sample sizes for social science surveys and impact on knowledge generation). *Innovaciones de negocios*, 11(22), 235–268. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/12605>
- Saraswat, P., Agrawal, R., y Rane, S. B. (2024). Technological integration of lean manufacturing with Industry 4.0 toward lean automation: Insights from the systematic review and further research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 32(6), 1909–1941. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2023-0316>
- Saad, S., Bahadori, R., Bhowar, C., y Zhang, H. (2023). Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, 15(5), 997–1024. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0021>
- Shichiyakh, R., Belova, N., Hajiyev, H., Bobrova, A., Vetrova, E., Bankova, N., Sergeeva, S., y Vaslavskaya, I. (2024). Implementation of lean manufacturing principles and fast structured logic methods in the organizational culture: Addressing challenges and maximizing efficiency. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(3), 963–970. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190337>
- Shukor, M. (2021). Autocorrelation test for the residual data from the pseudo-1st order kinetic model of the brominated flame retardant 4-bromodiphenyl ether adsorption onto biochar-immobilized *Sphingomonas* sp. *Journal of Environmental Bioremediation and Toxicology*, 4(1), 35–39. <https://doi.org/10.54987/jebat.v4i1.583>
- Singh, D., Kumar, P., Bhamu, J., y Goel, S. (2024). Interpretive structural modeling of Lean Six Sigma critical success factors in the context of Industry 4.0 for Indian manufacturing industries. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15, 3776–3793. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02375-y>
- Templ, M. (2023). Leveraging Sankey diagrams for enhanced curriculum planning in higher education. *The Curriculum Journal*, 36(1). <https://doi.org/10.1002/curj.299>
- Torres, E. y E. Alvarado (2023). Análisis sistemático de la relación de satisfacción laboral y lide-

- razgo transformacional. *Innovaciones de Negocio*, 20(39), 122-139. <https://doi.org/10.29105/revin20.39-414>
- Turgay, S., Pirvan, S., y Cebeci, Ç. (2023). Lean Manufacturing Implementation for Process Improvement in the Cable Company: A Comprehensive Approach. *Manufacturing and Service Operations Management*, 4(5), 1–11. <https://doi.org/10.23977/msom.2023.040501>
- United Nations statistics Division. (2025). *International Trade. United Nations, Department of Economic and Social Affairs*. <https://unstats.un.org/unsd/snaama/Basic>
- Vargas, T., y Yagüe, R. M. (2024). Organizational culture and innovation: Exploring the “black box.” *European Journal of Management and Business Economics*, 33(2), 174–194. <https://doi.org/10.1108/EJMBE-07-2021-0203>
- Ventura, J., y Peña, B. N. (2021). The world should not revolve around Cronbach’s $\alpha \geq .70$. *Adicciones*, 33(4), 369–372. <https://doi.org/10.20882/adicciones.1576>
- Womack, J. P., y Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.
- Yang, K., Justin, T., y T. Chien (2019). Homoscedasticity: An overlooked critical assumption for linear regression. *General Psychiatry*, 32(5), e100148. <https://doi.org/10.1136/gpsych-2019-100148>
- Yuik, C., Feng, C., y Perumal, P. (2020). Exploring critical success factors for the implementation of Lean Manufacturing in machinery and equipment SMEs. *Engineering Management in Production and Services*, 12, 77–91. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0029>
- Zwinderman, A., y Cleophas, T. (2021). *Analysis of variance (ANOVA)*. En *Regression analysis in medical research* (pp. 63–74). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61394-5_7