Ingeniería y Competitividad
Vol 28 (3) 2026 doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

Vol 28 (3)

ISSN
0123-3033
e- 2027-8284

Artículo Original

# ¿La madurez del sistema técnico XPS predice el desempeño operativo en plantas multinacionales?

## Does the maturity of company-specific production systems predict operational performance in multinational plants?

Jesús Arturo Chávez-Pineda[1]

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Delicias, Chihuahua, México.

## Resumen

**Introducción:** Los sistemas de producción específicos de la compañía (XPS) son los programas con los que las multinacionales despliegan prácticas inspiradas en Toyota en sus plantas. Se sostiene que el desempeño depende de la madurez alcanzada y no de la adopción, pero se ha contrastado casi solo dentro de una corporación.
**Objetivo:** Contrastar si la madurez del sistema técnico predice el alto desempeño operativo entre empresas y sectores, y si la asociación es gradual o de umbral.
**Metodología:** Encuesta transversal a 316 plantas de multinacionales manufactureras de cuatro sectores en México. La madurez se operacionalizó como jerarquía anidada de cuatro niveles que exige desplegar a la vez las doce prácticas del sistema técnico de la Casa del TPS. Las asociaciones se estimaron con regresión penalizada de Firth, ajustada por antigüedad, tamaño y sector.
**Resultados:** La proporción de plantas con alto desempeño asciende de forma monótona entre niveles de madurez: 21.7, 46.5, 71.9 y 88.2 por ciento, con una razón de momios de 3.00 por escalón ($p < 0.001$) que sobrevive al ajuste. Ni el tamaño ni el sector discriminan, y la antigüedad pierde su efecto al controlar por madurez.
**Conclusiones:** En el mejor conocimiento del autor, éste es el primer contraste de la proposición entre empresas y sectores en México. Lo distintivo es la completitud del despliegue.

**Palabras clave:** Palabras clave: sistemas de producción específicos; madurez de implementación; desempeño operativo; empresas multinacionales; manufactura esbelta.

## Abstract

**Introduction:** Company-specific production systems (XPS) are the corporate programmes through which multinational manufacturers deploy Toyota-inspired practices across their plant networks. Performance is held to depend on the maturity attained rather than on adoption itself, yet this has been tested almost only within single corporations.
**Objective:** To test whether technical-system maturity predicts high operational performance across firms and sectors, and whether the association is graded or threshold-like.
**Methodology:** Cross-sectional survey of 316 plants of multinational manufacturers in four sectors in Mexico. Maturity was operationalised as a four-level nested hierarchy requiring simultaneous deployment of the twelve technical-system practices of the House of the Toyota Production System. High performance was derived by two-cluster k-means on seven indicators, and associations by Firth penalised logistic regression adjusted for programme age, plant size and sector.
**Results:** The proportion of plants attaining high operational performance rises monotonically across maturity levels, from 21.7 to 46.5, 71.9 and 88.2 per cent, with an odds ratio of 3.00 per step ($p < 0.001$) that survives full adjustment. Neither plant size nor sector discriminates, and programme age loses its independent effect once maturity is controlled.
**Conclusions:** To the best of the author's knowledge, this is the first test of the proposition across firms and sectors in Mexico. What distinguishes plants is the completeness of deployment.

**Keywords:** company-specific production systems; implementation maturity; operational performance; multinational enterprises; lean manufacturing.

**¿Cómo citar?**

Chávez-Pineda JA. ¿La madurez del sistema técnico XPS predice el desempeño operativo en plantas multinacionales? Ingeniería y Competitividad, 2026, 28(3)e-20616123

https://doi.org/10.25100/iyc.v28i3.16123

Recibido: 03/10/26
Revisado: 6/11/26
Aceptado: 17/11/26
Online: 20/11/26

**Correspondencia**

jesus.cp@delicias.tecnm.mx

CrossMark

CC BY NC SA

OPEN ACCESS

**¿Por qué se realizó el estudio?**
Muchas plantas multinacionales en México implementan sistemas de producción ajustada corporativos inspirados en el Sistema de Producción Toyota, pero los resultados varían considerablemente entre ellas. Estudios anteriores medían la cantidad de prácticas adoptadas por una planta o la duración de su programa, pero no el grado de implementación de dichas prácticas en toda la planta. Queríamos determinar si la madurez de esa implementación predice el desempeño operativo.

**¿Cuáles fueron los hallazgos clave?**
En 316 plantas, la proporción de plantas con alto rendimiento aumentó progresivamente con la madurez, desde el 21,7 % en plantas con implementación incompleta hasta el 88,2 % en plantas con las doce prácticas plenamente implementadas (razón de probabilidades de 3,00 por nivel). La relación es gradual, sin un umbral único. Se mantiene incluso después de controlar por antigüedad del programa, tamaño de la planta y sector. La antigüedad del programa solo importa en la medida en que permite que la planta alcance la madurez, y ni el sector ni el tamaño de la planta explican el rendimiento.

**¿Qué aportan estos hallazgos?**
Demuestran que el rendimiento depende del alcance de la implementación en todo el sistema técnico, no de la antigüedad del programa ni del sector al que pertenece la planta. Para los directivos, cada nivel de implementación resulta beneficioso, por lo que los programas corporativos deberían impulsar la cobertura total de todas las prácticas en lugar de esperar a que el programa madure por sí solo.

Graphical Abstract

**Does the maturity of company-specific production systems predict operational performance?**

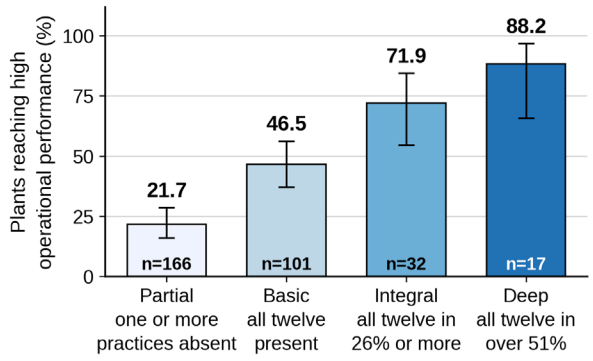
XPS technical-system maturity in 316 multinational manufacturing plants in Mexico

**Population**

Plants of multinational manufacturers running a company-specific production system (XPS) in Mexico: aerospace, automotive, electronics and medical devices.

**Measure**

Maturity of the XPS technical system is conjunctive: one threshold applied to all twelve practices at once, so an intensively deployed practice cannot make up for an absent one.




**Result**

OR = 3.00 per additional step of maturity (95% CI 2.20-4.22; $p < 0.001$; n = 316).

**Estimation**

Firth penalised logistic regression with profile-likelihood intervals, adjusted for programme age, plant size and sector. Replicated in R.

**Performance responds to completeness, not to intensity: what distinguishes plants is the practice they have not started.**

Jesus Arturo Chavez-Pineda · TecNM, Instituto Tecnologico de Delicias, Mexico · jesus.cp@delicias.tecnm.mx · ORCID 0000-0001-7352-7813

Bars: 95% Wilson intervals



doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

# Introducción

Los fabricantes multinacionales rara vez adoptan la producción lean como un kit de herramientas genérico. Diseñan su propio sistema de producción específico para cada empresa, un XPS, en el que la X representa el nombre corporativo, y lo implementan como un programa estratégico a largo plazo en toda su red de plantas (1). El objetivo es que cada planta opere bajo el mismo conjunto de principios y mejore según el mismo sistema, de modo que las prácticas operativas probadas en un mismo lugar puedan reutilizarse en otros lugares (2). Volvo, Bosch y Mercedes gestionan este tipo de programas, y su contenido proviene abrumadoramente del Sistema de Producción Toyota (TPS) y de la producción lean (1,3).

Sin embargo, un programa no es un resultado. La afirmación que ha organizado la investigación sobre XPS durante la última década es que el rendimiento operativo depende no de haber adoptado el programa, sino de hasta qué punto ha avanzado su implementación. En el estudio de referencia sobre el Sistema de Producción Volvo, se encontró que la relación entre la madurez de la implementación y el rendimiento operativo seguía una forma de S, con cada uno de los principios del modelo comportándose de forma similar (4,5). Dado que ese estudio abarcó plantas en varios países y continentes con diferentes productos y procesos, controló la cultura corporativa, la industria y la tecnología, y sus autores concluyeron que la madurez puede ser el factor más importante que explique las diferencias de rendimiento entre plantas, por encima de atributos contextuales como el tamaño de la planta (6), el nivel de desarrollo del país anfitrión (7) o la cultura organizativa (8).

Esa conclusión conlleva un coste inferencial que ha pasado en gran medida sin examinar. Controlar las contingencias permaneciendo dentro de una misma corporación también es lo que impide que el hallazgo se propague: en un diseño de una sola empresa, la cultura corporativa, el contenido del programa, los instrumentos de medición y la atención directiva se mantienen constantes por la construcción, y son precisamente esos factores los que varían cuando una planta pertenece a otra multinacional. Si la asociación madurez–rendimiento sobrevive entre empresas, entre programas corporativos con diferentes contenidos y en una base manufacturera de economía emergente es, por tanto, una cuestión empírica abierta más que un resultado establecido.

Una segunda brecha se refiere a la forma de la relación. La madurez se trata rutinariamente como una cantidad escalar, y la literatura empírica ha tendido a dicotomizar entre alta y mínima (9,10). Sin embargo, la implicación gerencial varía notablemente según si la asociación es graduada o similar a un umbral. Si se clasifica, cada incremento de despliegue compra rendimiento y la inversión incremental es racional; si el despliegue tipo umbral, el despliegue parcial no compra nada y la única estrategia racional es alcanzar el umbral o no comenzar. Distinguir ambos requiere medir la madurez en más de dos niveles e informar del perfil de respuesta completo, lo cual rara vez se hace.

Una tercera brecha es la medición. Las puntuaciones compuestas de lean suelen construirse como promedios entre prácticas (6,11), una operación que permite a una práctica desplegada intensivamente compensar una ausente. Si, como se mantiene la lectura sociotécnica del lean, el sistema técnico obtiene su efecto de la interacción entre sus partes y no de su suma (8,12,13,14),


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

entonces un promedio es la forma funcional incorrecta: se registrará como madura una planta que ha saturado las prácticas baratas y nunca ha iniciado las costosas. Una medida que requiere presencia simultánea es teóricamente preferible, pero su superioridad empírica no ha sido demostrada.

Estas tres lagunas se encuentran en una observación práctica: el despliegue parcial no es una etapa transitoria sino un estado estable. La evidencia reciente atribuye el fracaso en sostener los programas de mejora a causas organizativas más que técnicas, y encuentra que las mismas causas se repiten en países y sectores (15,16); los modelos de despliegue estructurado se proponen precisamente porque el sostenimiento no se deriva de la adopción (17). Los estudios sobre barreras de implementación convergen en la misma lectura, identificando restricciones que atraviesan la planta en lugar de residir en una sola práctica (18), y el trabajo sobre los factores críticos de éxito de la estrategia lean en la fabricación la alcanza desde la dirección opuesta (19,20). Lo que ninguna de esta literatura resuelve es hasta qué punto debe avanzar el despliegue antes de que el rendimiento responda.

La cuestión tiene un peso particular en las economías emergentes, donde las plantas multinacionales operan bajo limitaciones de recursos y capacidades que los estudios de referencia de los programas no enfrentaron (7). Dichas limitaciones afectan a cada una de las tres lagunas. El XPS está diseñado en la sede corporativa para toda la red (1,2), pero cada filial lo despliega con el personal de ingeniería, la capacidad de formación y el presupuesto de inversión disponibles localmente, de modo que la propia planta decide qué prácticas iniciar primero y hasta dónde extender cada una. El despliegue parcial en una planta de este tipo es, por tanto, un resultado de asignación así como una etapa de progreso. La forma de la relación repercute directamente en esa asignación: bajo una respuesta gradual, cada práctica puesta en funcionamiento produce un retorno que la planta puede demostrar a su empresa, mientras que bajo un umbral de respuesta los recursos gastados por debajo del umbral no producen nada. El problema de la medición también es más agudo, porque las prácticas aplazadas bajo limitaciones de recursos tienden a ser las costosas que cruzan fronteras departamentales, que es el patrón que una media oculta. Las hojas de ruta desarrolladas para estos entornos tratan la excelencia operativa como una progresión escalonada y no como un estado binario (21), y las comparaciones globales de despliegue entre sectores informan de una amplia variación en hasta qué punto avanzan las organizaciones a lo largo de este (22). La evidencia de casos de plantas latinoamericanas muestra el mismo patrón a nivel de cada sitio individual (23). No se ha probado si los rendimientos del despliegue bajo estas restricciones se clasifican o dependen de un umbral en una población de plantas transempresariales.

Este estudio aborda conjuntamente las tres lagunas. Utilizando una encuesta transversal a 316 plantas pertenecientes a fabricantes multinacionales que operan en México en cuatro sectores, se evalúa si la madurez del sistema técnico predice un alto rendimiento operativo entre empresas y no dentro de una sola, si la asociación está calificada y si una medida de madurez basada en el despliegue simultáneo discrimina. México ofrece un entorno informativo: es una de las mayores plataformas manufactureras de exportación del mundo, sus plantas pertenecen abrumadoramente a multinacionales extranjeras que gestionan su propio XPS y, por tanto, proporciona precisamente


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

la variación interempresarial que los diseños de una sola corporación no pueden ofrecer. Evidencia mexicana previa ha documentado el impacto de herramientas lean individuales en los resultados de la planta (24) y la predominancia de la adopción parcial en lugar de integral en la base de maquiladoras (25). Un estudio previo sobre una parte anterior de la misma encuesta estableció qué prácticas se adoptan y mostró que la adopción no difiere significativamente entre sectores industriales (26). Lo que queda sin examinarse es si la madurez del sistema técnico, considerado como sistema, predice lo que realmente logran las plantas: que el trabajo anterior describe la adopción pero no aporta ningún resultado de rendimiento, y por tanto no se ha planteado la cuestión de las consecuencias.

## Antecedentes teóricos e hipótesis (El sistema técnico de modelos XPS)

Los dos pilares del TPS, just-in-time y jidoka, fueron identificados en la primera explicación en inglés del sistema (27) y han organizado cada representación posterior del mismo. La Casa del TPS organiza las prácticas técnicas en consecuencia: una base de estabilidad del proceso, dos pilares y un techo que representa los resultados previstos de calidad, plazo de entrega y coste (28). Las versiones publicadas de la casa difieren en lo que sitúan en el centro, que es el componente social, pero no en las prácticas técnicas que conforman la base y los pilares. La difusión de estas prácticas más allá de Toyota, y la consolidación de la producción enxuta como paradigma dominante de fabricación, están documentadas en síntesis recientes sobre los orígenes del modelo y la forma en que sus conceptos se han llevado a otros contextos (28).

El análisis de treinta modelos XPS de multinacionales reconocidas determinó que no hay dos idénticos, que todos comparten los mismos principios con diferentes énfasis, y que su contenido común se inclina más hacia el lado técnico del TPS que hacia el aspecto humano y cultural (1). Cabe destacar que los dos pilares en sí no están entre los principios más frecuentes del XPS medio, mientras que el liderazgo, el trabajo en equipo y la implicación de los empleados aparecen con una frecuencia intermedia. A efectos de medición, esto es conveniente: el sistema técnico es la parte del XPS que está presente de forma constante en los programas corporativos y descrita de forma coherente en términos comparables, lo que lo convierte en el objeto manejable para un estudio interempresarial.

## Madurez y sus dos dimensiones

La madurez en un programa de mejora multiplanta se ha descompuesto en dos dimensiones (4,29). La primera es la amplitud de transferencia, es decir, el grado en que el modelo de la empresa se ajusta al modelo de referencia en el que se basa – para un XPS, hacia el TPS y la producción lean. La conformidad es fundamental cuando se adoptan las prácticas prescritas como un conjunto, y parcial cuando solo algunas se implementan de forma aislada. La segunda es la profundidad de implementación, es decir, cuán exhaustiva y extensa se implementa realmente cada práctica dentro de la planta. El tiempo transcurrido desde el lanzamiento del programa se ha utilizado como indicador de madurez, pero se ha demostrado que es insuficiente (4).


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

La distinción importa para la forma funcional de la medida. La amplitud es una propiedad conjuntiva: un modelo se ajusta a la referencia solo si todas sus prácticas constituyentes están presentes. La profundidad es cuestión de grado. Por tanto, una medida que respete ambas debe ser conjuntiva en amplitud y graduada en profundidad – que es exactamente lo que un promedio no logra y lo que logra una jerarquía anidada de umbrales aplicada simultáneamente a todas las prácticas.

## Hipótesis

Los modelos de madurez son el instrumento habitual para este fin, y su construcción constituye en sí misma un problema metodológico activo. Los modelos de autoevaluación hacen explícitas las etapas pero dejan los umbrales al encuestado (30); trabajos recientes sobre modelos de madurez en la fabricación sostienen que sus niveles deben derivarse y validarse en lugar de afirmarse (31), y los estudios de desarrollo a escala muestran que el constructo de excelencia se mide con conjuntos de ítems marcadamente diferentes entre estudios (32). Aplicado específicamente al lean, se ha demostrado que la evaluación de las prácticas de desarrollo depende en gran medida de dónde se reducen los niveles (9). La medida utilizada aquí responde a esa preocupación fijando una única regla y moviendo un umbral.

La proposición central de la literatura sobre madurez, trasladada del entorno de una sola corporación a uno transempresarial, plantea la primera hipótesis. Si la madurez y no la adopción impulsa el rendimiento, y si ese mecanismo es una propiedad de los sistemas de producción y no de un programa corporativo en particular, la asociación debería ser observable en una población de plantas pertenecientes a distintas multinacionales.

H1. La madurez del sistema técnico está positivamente asociada con la consecución de un alto rendimiento operativo.

La explicación de la curva S implica algo más que una asociación positiva: implica que el rendimiento responde al despliegue de forma continua en la mitad del rango, con segmentos planos solo en los extremos (4). En el rango observable en una población manufacturera general, donde muy pocas plantas alcanzan los niveles más altos, esto predice una respuesta graduada en lugar de umbral.

H2. La asociación es clasificada: la probabilidad de un alto rendimiento operativo aumenta de forma monótona a lo largo de los sucesivos niveles de madurez.

Finalmente, si la madurez es la variable operativa, los atributos contextuales que una amplia literatura ha propuesto como explicaciones de las diferencias de rendimiento no deberían desplazarla, y el tiempo transcurrido del programa no debería ejercer un efecto propio una vez que se mantenga constante la madurez (4,6,8).

H3. La asociación entre madurez y alto rendimiento operativo persiste tras ajustar por antigüedad del programa, tamaño de planta y sector industrial.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

# Metodología (diseño de investigación)

El estudio es cuantitativo, no experimental y transversal, y su alcance es explicativo-correlacional: pone a prueba hipótesis sobre la asociación entre dos constructos medidos en un único momento, sin manipular ninguno. La unidad de análisis es la planta, y cada planta está representada por un informante cualificado. Tres características del problema de investigación determinaron esta vía.

En primer lugar, la cuestión se refiere a la generalidad entre empresas, lo que requiere plantas que pertenezcan a distintas multinacionales y gestionen distintos programas corporativos. Ninguna fuente pública registra el despliegue de las prácticas XPS planta por planta, por lo que los datos debían proceder de informantes dentro de las plantas, y una encuesta estructurada administrada bajo un protocolo común es el instrumento que alcanza a suficientes para estimar la asociación con ajustes para controles. En segundo lugar, no se dispone de registros de vencimiento comparables entre empresas y repetidos a lo largo del tiempo, y un panel de una sola empresa reintroduciría la restricción que el estudio pretende eliminar (4). Por tanto, un diseño transversal es la primera prueba factible: puede establecer si la asociación existe entre empresas y describir su forma, mientras que su orientación se basa en el argumento teórico de la Sección 1.1 y queda por confirmar longitudinalmente. Tercero, no existe un marco muestreo que liste las plantas multinacionales en México junto con la existencia y antigüedad de sus programas lean, lo que descarta el muestreo probabilístico. Por tanto, los informantes fueron seleccionados con propósito por posición y experiencia, y la inferencia se refiere a plantas con un programa operativo de lean en los cuatro sectores estudiados; las proporciones reportadas no se extrapolan a la manufactura mexicana en su conjunto.

Estas opciones también fijaron la estrategia analítica antes de examinar los datos. Dado que el resultado es binario y se esperaba que el nivel de madurez más alto contuviera pocas plantas, se especificó a priori la regresión logística penalizada (Sección 2.4). Como predictor y resultado proceden del mismo informante, el instrumento incorporó dos remedios procedimentales: anonimato de la respuesta (véanse Declaraciones) y una escala de cobertura conductual para las prácticas (Sección 2.3), y se planificaron diagnósticos estadísticos de varianza común del método para la fase de análisis (Sección 2.4).

## Muestra y recogida de datos

La población de interés estaba formada por plantas de empresas multinacionales de fabricación que operan en México. El estudio se limitó a cuatro sectores: automoción, eléctrico y electrónico, aeroespacial y dispositivos médicos, por cuatro razones: constituyen el núcleo de la fabricación multinacional de exportación en México; son industrias en las que se han documentado sistemas de producción específicos para cada empresa (1,3); sus clientes requieren sistemas certificados de gestión de calidad (IATF 16949 en automoción, AS9100 en aeroespacial, ISO 13485 en dispositivos médicos y, habitualmente, ISO 9001 en electrónica), por lo que las funciones de mejora continua atendidas por informantes capaces de informar del despliegue están formalmente establecidas en sus plantas; y cada sector suministra suficientes plantas para estimar los contrastes sectoriales que exige H3. Se identificaron informantes cualificados a través de LinkedIn Recruiter, una plataforma


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

profesional de búsqueda de perfiles, utilizando dos criterios de selección: ocupar un puesto directivo o de ingeniería, preferiblemente en funciones de mejora continua, y tener conocimiento y experiencia directa en lean manufacturing y TPS. Se administró un cuestionario estructurado a través de una plataforma en línea especializada. La recogida de datos concluyó en julio de 2026. Las invitaciones se enviaron individualmente a través de LinkedIn, por lo que no se registró su número exacto; se contactó aproximadamente a 2.600 informantes, lo que corresponde a una tasa de respuesta de aproximadamente el 12 por ciento. Se obtuvieron respuestas completas para 316 plantas, distribuidas en cuatro sectores: automoción (157), eléctrica y electrónica (67), aeroespacial (49) y dispositivos médicos (43). Las 316 plantas no constituyen un censo de estos sectores. Son las plantas para las que se contactó con un informante cualificado y devolvió un cuestionario completo, extraído de una población de plantas multinacionales en los cuatro sectores considerablemente mayor y para la que no existe una lista completa. Por tanto, la muestra es no probabilística y con propósito, como justifica la Sección 2.1. Durante el cribado se detectaron dos registros con respuestas idénticas en cada elemento; se mantuvieron en el análisis principal, y el efecto de excluirlas se informa en la Sección 3.4. Varias multinacionales están representadas por más de una planta. Cada planta tiene su propia gestión, su propio nivel de despliegue y su propio historial de desempeño, por lo que la planta es la unidad de análisis y las plantas pertenecientes a la misma empresa entran en el análisis como observaciones distintas. Las plantas de la misma multinacional no necesitan compartir un nivel común de progreso: en el estudio de referencia, las plantas que gestionan el mismo programa corporativo diferían ampliamente en la madurez de la implementación (4). Por tanto, la madurez se considera una propiedad que cada planta alcanza dentro de su programa corporativo, y la muestra proporciona la variación entre empresas que H1 requiere.

## Medidas

Prácticas de sistemas técnicos. Se midieron doce prácticas prescritas en la Cámara del TPS: reducción del tamaño del lote, mapeo de flujo de valor, diseño celular, sistema de pull, cambio rápido (SMED), producción nivelada y mixta, mantenimiento productivo total, calidad en la fuente con dispositivos antierrores, detección automatizada de defectos (jidoka), trabajo estándar, gestión y controles visuales, y 5S. Dado que el concepto de interés es el grado de despliegue más que la opinión del informante, cada práctica se midió como la cobertura alcanzada dentro de la planta en una escala ordinal de cinco niveles: (1) 0 por ciento de la planta, (2) 1-25 por ciento, (3) 26-50 por ciento, (4) 51-75 por ciento y (5) más del 75 por ciento. La consistencia interna fue adecuada (alfa de Cronbach = 0,906). La elección de una escala de cobertura en lugar de una escala de acuerdo sigue la evidencia de que los efectos de lean están vinculados al grado real de despliegue en distintas industrias y tamaños de planta (33). La ausencia de consenso sobre qué prácticas constituyen el sistema lean (10,32) se abordó adoptando la Cámara del TPS como marco de selección, ya que es el modelo que los programas XPS declaran como su fuente (1), evitando así la selección discrecional.

Madurez del sistema técnico. Siguiendo la definición bidimensional (4), la madurez se operacionalizó como una jerarquía anidada de cuatro niveles en la que cada nivel contiene el siguiente y se aplica simultáneamente el mismo umbral a las doce prácticas: Parcial, al menos una


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

práctica totalmente ausente; Básica, las doce presentes; Integral, las doce implementadas en al menos el 26 por ciento de la planta; y Profunda, las doce desplegadas en más del 51 por ciento de la planta. La forma conjuntiva impide que una práctica desplegada intensivamente compense una ausencia, que es el comportamiento que permitiría una media.

Alto rendimiento operativo. Se midieron siete indicadores operativos: satisfacción del cliente con la calidad del producto y con los tiempos de entrega, y variación de tres años en el rendimiento de producción acumulada, chatarra y retrabajo, tiempo de ciclo, coste de fabricación y tiempo de entrega. La variable dependiente se obtuvo mediante dos k-medias de clúster sobre los indicadores estandarizados, con 50 inicializaciones y una semilla fija; el clúster con la media global más alta fue etiquetado como alto rendimiento operativo. La consistencia interna de los siete indicadores fue adecuada (alfa = 0,864).

Variables de control. La antigüedad del programa se midió como años desde el inicio de la implementación lean en una escala ordinal de cinco niveles; tamaño de planta como número de empleados en una escala ordinal de cuatro niveles; y sector como conjunto de variables indicadoras con la aeroespacial como categoría de referencia.

## Análisis

Se estimaron asociaciones con regresión logística utilizando la corrección de verosimilitud penalizada de Firth (34). La corrección se eligió a priori porque el nivel de madurez más alto contiene pocas plantas y las células dispersas resultantes producen una separación casi completa, bajo la cual las estimaciones de máxima verosimilitud divergen o están severamente sesgadas respecto al nulo (35). Los intervalos de confianza se obtuvieron mediante verosimilitud penalizada por perfil en lugar de aproximación de Wald, y los valores p mediante pruebas de razón de verosimilitud penalizadas. Se realizó una prueba de tendencia introduciendo el nivel de madurez como un único predictor ordinal. La robustez se evaluó según definiciones alternativas de la variable dependiente, umbrales de madurez alternativos y exclusión de registros duplicados. La varianza común del método se examinó con la prueba de factor único de Harman y con la técnica marcador-variable (36), tomando años de experiencia en el rol actual como marcador teóricamente no relacionado con ambos constructos. Los análisis se realizaron en R 4.3.3 utilizando el paquete brglm2, que implementa la corrección de Firth mediante ecuaciones ajustadas de puntuación reductoras de sesgo medio, equivalentes en regresión logística a penalización por el Jeffreys prior (37). La Figura 1 resume la construcción tanto de los constructos como del modelo estimado.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

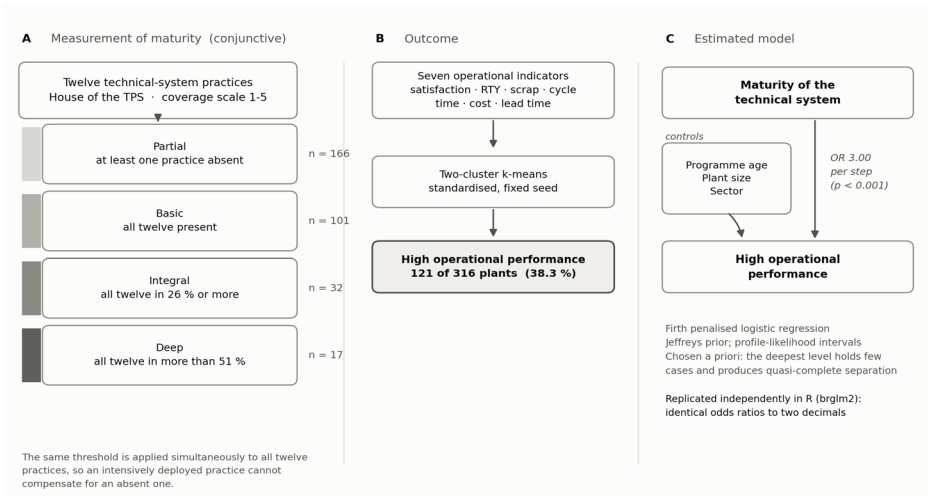



**Figura 1**. Construcción de los dos constructos y del modelo estimado. Panel A, las doce prácticas del sistema técnico y los cuatro niveles de madurez anidados; panel B, derivación del resultado; panel C, la asociación estimada y sus variables de control.

# Resultados

## Distribución del vencimiento

La Tabla 1 recoge la distribución de la madurez por sector, incluida aquí para caracterizar la muestra y no como un hallazgo: el perfil de adopción de esta población y la ausencia de diferencias sectoriales significativas en ella se establecen en el estudio anterior (26), que se basó en una parte anterior de la misma encuesta. Algo más de la mitad de las plantas no implementan el sistema técnico completo y solo el 5,4 por ciento alcanza el nivel más profundo, lo que hace necesaria la estimación penalizada descrita en la Sección 2.4.

**Tabla 1.** Distribución de la madurez del sistema técnico por sector (n = 316).

| Sector | n | Parcial | Básico | Integral | Profundo |
|---|---|---|---|---|---|
| Automoción | 157 | 48.4 % | 33.1 % | 11.5 % | 7.0 % |
| Eléctrico/electrónico | 67 | 47.8 % | 40.3 % | 10.4 % | 1.5 % |
| Aeroespacial | 49 | 63.3 % | 26.5 % | 6.1 % | 4.1 % |
| Dispositivos médicos | 43 | 62.8 % | 20.9 % | 9.3 % | 7.0 % |
| Total | 316 | 52.5 % | 32.0 % | 10.1 % | 5.4 % |

## El gradiente de madurez

Se alcanzó un alto rendimiento operativo en 121 de las 316 plantas (38,3 por ciento). Los dos grupos se separan claramente en los cinco indicadores de mejora dura en lugar de en la satisfacción declarada, y la partición coincide con una simple división mediana en el 92,7 por ciento de los casos y con una división tercile superior en el 97,2 por ciento, lo que indica que no es un artefacto del algoritmo.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

La Figura 2 presenta el resultado central. La proporción de plantas que alcanzan un alto rendimiento operativo aumenta de forma monótona en los cuatro niveles de madurez, sin excepción: 21,7 por ciento de las 166 plantas parciales, 46,5 por ciento de las 101 Básicas, 71,9 por ciento de las 32 Integrales y 88,2 por ciento de las 17 Profundas. La prueba de tendencia arroja una razón de probabilidades de 3,00 por nivel (z = 6,63, p < 0,001), y la asociación ordinal entre la madurez y la puntuación de rendimiento continuo es considerable (Spearman rho = 0,512, p < 0,001). Se admiten H1 y H2.

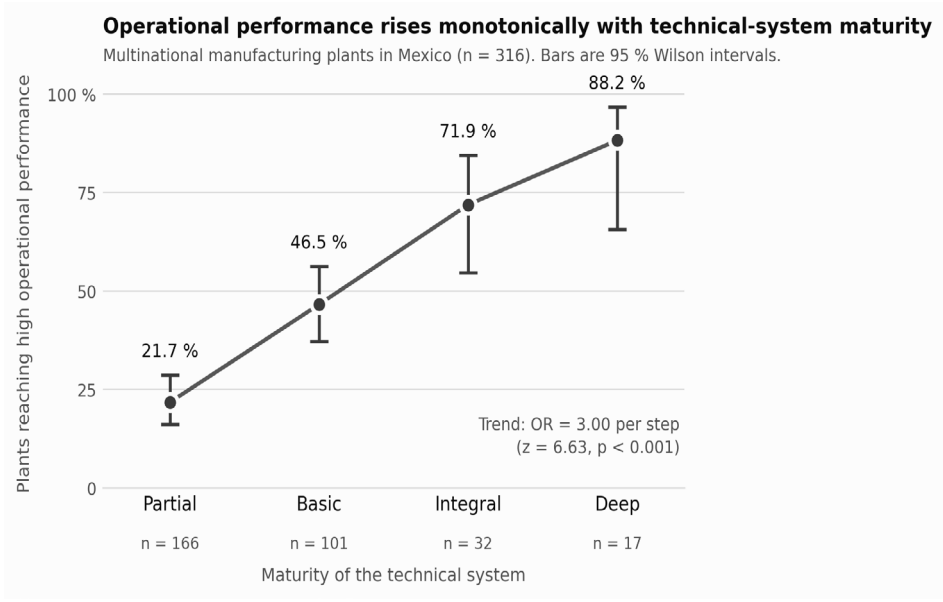



**Figura 2.** Proporción de plantas que alcanzan un alto rendimiento operativo según el nivel de madurez del sistema técnico, con intervalos Wilson del 95 por ciento (n = 316).

## Modelos ajustados

La tabla 2 recoge las regresiones logísticas penalizadas. En el modelo de niveles, cada nivel de madurez se compara con el nivel parcial tras ajuste por antigüedad del programa y tamaño de planta: las probabilidades de un alto rendimiento operativo son 2,96 veces mayores para plantas básicas, 8,24 veces mayores para plantas integrales y 20,29 veces mayores para plantas profundas, todas con p < 0,001. Se conserva la pendiente y el orden de las estimaciones puntuales coincide con el perfil no ajustado. Se soporta H3.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

**Tabla 2.** Firth penalizó la regresión logística prediciendo un alto rendimiento operativo (n = 316).

| Predictor | O | IC 95% | p |
|---|---|---|---|
| Modelo de nivel (referencia: Parcial) | | | |
| Básico | 2.96 | 1.72 – 5.13 | < 0,001 |
| Integral | 8.24 | 3.62 – 20.12 | < 0,001 |
| Profundo | 20.29 | 5.86 – 106.44 | < 0,001 |
| Antigüedad del programa (por paso) | 1.08 | 0.89 – 1.32 | 0.432 |
| Tamaño de planta (por paso) | 0.98 | 0.76 – 1.27 | 0.876 |
| Modelo dicotómico: sistema completo | 4.34 | 2.65 – 7.22 | < 0,001 |
| Modelo totalmente ajustado: madurez profunda | 9.84 | 2.94 – 50.60 | < 0,001 |
| Antigüedad del programa (por paso) | 1.20 | 1.00 – 1.45 | 0.051 |
| Tamaño de planta (por paso) | 1.01 | 0.79 – 1.30 | 0.945 |
| Automoción (ref.: aeroespacial) | 1.31 | 0.65 – 2.75 | 0.453 |
| Eléctrico/electrónico | 1.27 | 0.57 – 2.90 | 0.565 |
| Dispositivos médicos | 1.59 | 0.65 – 3.93 | 0.310 |

Tres resultados secundarios merecen atención. Primero, ningún contraste sectorial se acerca a la significancia, y el sector automotriz —convencionalmente considerado el más avanzado— es indistinguible del resto una vez que se mantiene constante la madurez. Segundo, el tamaño de la planta es nulo a lo largo de todo (OR ≈ 1,00). Tercero, la edad del programa no tiene efecto independiente en el modelo de niveles (OR = 1,08, p = 0,432) y es, en el mejor de los casos, marginal en el modelo totalmente ajustado (OR = 1,20, p = 0,051), lo que indica que el tiempo transcurrido opera a través de la madurez alcanzada en lugar de junto a ella.

## Robustez

Se realizaron seis comprobaciones. Comparando las estimaciones de Firth con la verosimilitud máxima no penalizada, ambas coinciden en un rango de entre el 2,2 y el 4,4 por ciento donde los recuentos celulares son adecuados y divergen en un 18,3 por ciento cuando la celda más pequeña contiene dos observaciones, lo que confirma que la corrección solo opera donde debe. En cuatro definiciones alternativas de alto rendimiento operativo, la razón de probabilidades para el predictor de sistema completo oscila entre 4,16 y 7,97 con la dirección sin cambios. Elevar el umbral de vencimiento produce una dosis-respuesta en la propia medida (OR 4,34, 6,72 y 10,16 para los umbrales sucesivos). Excluir dos registros exactamente duplicados deja las estimaciones esencialmente sin cambios (OR 4,25, 6,51 y 9,55).

Una comparación adicional se basa en el argumento de la medición. Agrupando las doce prácticas en tres paquetes según su posición en la Casa del TPS – base de organización-lugar de trabajo, pilar de flujo e prácticas intermedias – cada haz predice el rendimiento por sí solo con una discriminación similar (AUC 0,735 a 0,770). Sin embargo, cuando se introduce conjuntamente, el haz base pierde significación (OR 1,42, p = 0,107) mientras que los fibrados flujo e intermedio la retienen (OR 1,52, p = 0,032; OR 1,71, p = 0,012). Dado que los fibrados están fuertemente intercorrelacionados (r = 0,68 a 0,75), esta descomposición debe interpretarse como indicativa más que concluyente; se informa porque tiene que ver directamente con por qué una medida conjuntiva puede discriminar donde una media no lo hace.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

Una quinta comprobación aborda la varianza común del método. En la solución no rotada de componentes principales sobre los diecinueve ítems, el primer componente representa el 43,6 por ciento de la varianza, por debajo del criterio convencional, y tres componentes superan el autovalor unitario; los ítems de rendimiento cargan más fuertemente sobre el segundo componente que sobre el primero, por lo que predictor y resultado no colapsan en un solo factor. Las correlaciones entre la práctica y los bloques de rendimiento (mediana r = 0,357) son menores que las dentro de cualquiera de los bloques (0,436 y 0,429), lo que es el inverso del patrón producido por un factor dominante. La variable marcador se correlaciona con los diecinueve ítems a un valor absoluto mediano de 0,039, dando r_M = 0,022; la correlación ajustada por marcador entre vencimiento y rendimiento cae de 0,418 a 0,405 y sigue siendo significativa ($p < 0,001$), y introducir el marcador en el modelo de tendencia mueve la razón de probabilidades como máximo en un 4,7 por ciento.

Una sexta comprobación se basa en la simetría que asume la medida. Estimar la respuesta del rendimiento a cada práctica por separado arroja ratios de probabilidad entre 1,51 y 2,25 por nivel de cobertura, cada uno de ellos significativo a $p < 0,001$. Una prueba de homogeneidad a lo largo de las doce laderas no rechaza un valor común ($Q = 11,95$, $df = 11$, $p = 0,368$; I-cuadrado = 7,9 por ciento), siendo la estimación agregada de 1,78 por nivel de cobertura. Por tanto, las doce prácticas contribuyen con una intensidad indistinguible, que es la condición empírica bajo la cual aplicar un umbral a todas ellas simultáneamente es una operación defendible y no una convención; también reproduce, en una red manufacturera diferente, la conclusión de que los principios de un programa se comportan de forma similar (4). Esto no contradice la descomposición por haces mencionada anteriormente: una práctica puede mantener la misma razón de probabilidades por nivel de cobertura y aun así discriminar débilmente dentro de una muestra dada, porque la discriminación requiere variación además de pendiente, y las prácticas más ampliamente desplegadas tienen poca variación restante. La intensidad igual y el poder discriminatorio desigual son propiedades de cosas diferentes, el coeficiente y la distribución. Dos características matizan el resultado. El despliegue aumenta con la antigüedad del programa y desacelera en las doce prácticas, pero la muestra no contiene planta al inicio del despliegue, por lo que solo se observa la parte superior de esa trayectoria. Y para las prácticas más ampliamente desplegadas, las celdas de baja cobertura son muy pequeñas, por lo que el inicio plano de esas curvas depende de pocas observaciones.

# Discusión

## Generalidad de la asociación entre empresas (H1)

La propuesta madurez–rendimiento sobrevive al salto de la única corporación. En 316 plantas pertenecientes a distintas multinacionales, gestionando distintos programas corporativos, en cuatro sectores y una economía emergente, la probabilidad de alcanzar un alto rendimiento operativo aumenta de forma monótona con la madurez del sistema técnico, y el gradiente resiste el ajuste por antigüedad del programa, tamaño de planta y sector. Esto amplía el hallazgo de la curva S (4) en la dirección que más importó en su generalidad: la asociación no es un artefacto de mantener constantes la cultura corporativa, el contenido del programa y la medición.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

El peso teórico de este resultado depende de lo que varía a lo largo de la muestra. La literatura XPS describe los programas corporativos como variantes que comparten principios con diferentes énfasis, el patrón de mejor camino identificado en treinta multinacionales (1), y la lectura basada en recursos trata cada programa como un activo específico de la empresa cuyo valor reside en parte en ser difícil de imitar (2). Si el efecto de rendimiento residiera en el contenido idiosincrático de cada programa, la asociación se debilitaría cuando las plantas que gestionan distintos programas se agrupan. En cambio, se cumple, lo que sitúa el efecto en el núcleo técnico que los programas comparten con el TPS. El resultado es coherente con la distinción entre adopción e implementación establecida en otros entornos (5): las plantas que mejor rinden se distinguen por lo completo que han implementado el núcleo técnico de su programa. La asociación también se mantiene en una economía emergente donde, como se argumenta en la Sección 1, las filiales despliegan programas corporativos bajo limitaciones locales de recursos y capacidades (7,21). Los datos no pueden mostrar si esas limitaciones ralentizan el despliegue, pero el gradiente indica que el retorno al despliegue persiste bajo ellas.

### Forma de la respuesta (H2)

El perfil de respuesta es graduado, no umbral, lo que conlleva una implicación directa de gestión. Solo entre los niveles Parcial y Básico —es decir, simplemente habiendo iniciado las doce prácticas en algún lugar de la planta— la proporción de altos rendimientos se duplica más que por completo, pasando del 21,7 al 46,5 por ciento. Por tanto, el despliegue incremental da la pena, y no se respalda la intuición gerencial común de que el lean solo recompensa a quienes completan el recorrido. Cabe señalar, sin embargo, que el perfil observado es cóncavo en el rango de datos en lugar de sigmoide: el segmento inferior plano predicho por la curva S no es visible aquí, lo que podría reflejar que el nivel más bajo en este estudio aún contiene plantas con un despliegue parcial sustancial. Resolver la forma a baja madurez requeriría una medición más fina en ese extremo.

El perfil tiene una forma precisa. Con una ratio de probabilidades de 3,00 por nivel, una ganancia multiplicativa constante en las probabilidades de alto rendimiento reproduce casi exactamente las cuatro proporciones observadas: partiendo del 21,7 por ciento en el nivel Parcial, predice 45,4, 71,4 y 88,2 por ciento en los siguientes niveles, frente al 46,5, 71,9 y 88,2 por ciento observados, y las ratios de probabilidades específicas por paso calculadas a partir de las proporciones observadas son 3,14, 2,94 y 2,92. La relación es, por tanto, cercana a lineal en la escala logarítmica de probabilidades sobre el rango observado, y la concavidad visible en la Figura 2 es la compresión que produce una razón de probabilidades constante a medida que las probabilidades se acercan a uno. Al leer las dos dimensiones de la madurez (4,29), el paso de Parcial a Básico es un aumento de amplitud, ya que completa el conjunto de prácticas, y los dos pasos siguientes son aumentos en profundidad. Cada paso multiplica las probabilidades por un factor similar, por lo que la amplitud y la profundidad contribuyen comparablemente al rendimiento en este rango y la medida conjuntiva captura ambos. Para las plantas que operan bajo limitaciones de recursos, el primer paso tiene una lectura particular: solo requiere que todas las prácticas estén presentes en algún lugar de la planta, y eleva la proporción de los que tienen alto rendimiento en unos 25 puntos porcentuales, una ganancia comparable a la del siguiente paso y mayor que la del anterior.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

### Atributos contextuales y antigüedad del programa (H3)

Tres resultados nulos son informativos. El sector no discrimina, lo que amplía un resultado establecido en lugar de anunciar uno nuevo: ya se había demostrado que la adopción de prácticas lean en esta población no dependía del sector industrial (26), y el presente análisis muestra que el resultado de esa adopción tampoco depende de ello. La ventaja automovilística que la literatura manufacturera mexicana asume rutinariamente resulta, una vez controlada la madurez, una ventaja de madurez y no de sector. El tamaño de la planta tampoco discrimina, lo que contradice una explicación contextual persistente de las diferencias de rendimiento (6,38). Y la era del programa pierde su efecto independiente, que refina en lugar de contradicir la explicación existente: el tiempo no compra el rendimiento, compra el vencimiento y el vencimiento compra el rendimiento. Este patrón es coherente con una estructura de mediación en la que el tiempo transcurrido actúa a través de la madurez que permite alcanzar a una planta; el diseño no prueba formalmente esa mediación, pero el patrón explica por qué el tiempo transcurrido ha demostrado repetidamente ser un indicador insatisfactorio (4).

Estos resultados nulos se refieren a las explicaciones de contingencia revisadas en la Sección 1. El tamaño de la planta (6), el nivel de desarrollo del país anfitrión (7) y el cultivo organizativo (8) se han propuesto como razones por las cuales las plantas difieren en rendimiento. El diseño actual mantiene constante al país de acogida y no mide el cultivo, por lo que no puede evaluar esos dos atributos; sí prueba tamaño y sector, y ninguno desplaza la madurez. Dentro de una sola economía emergente, los atributos contextuales observables a nivel de planta explican, por tanto, menos la diferencia en el rendimiento que el grado en que se ha desplegado el sistema técnico. El contexto aún puede influir en la rapidez con la que madura una planta, lo cual es una cuestión sobre los antecedentes de madurez que este estudio deja abiertos.

### Contribuciones empíricas, teóricas y metodológicas

Los hallazgos respaldan tres aportaciones, cada una definida por lo que aporta a la literatura revisada en la Sección 1. La contribución empírica es la extensión de la propuesta madurez–rendimiento más allá de la única corporación en la que se estableció (4). Antes de este estudio, la propuesta se basaba en plantas que compartían un mismo programa, una cultura corporativa y un sistema de medición; ahora también se basa en plantas que no comparten ninguna de estas cosas, en una economía emergente y, según el mejor conocimiento del autor, por primera vez en un entorno mexicano. La extensión importa porque los directivos de plantas fuera de las corporaciones estudiadas solo pueden basarse en la versión interempresarial de la propuesta, y esa versión no había sido probada.

La contribución teórica se refiere a la forma de la proposición. La explicación de la curva S (4) predice segmentos planos en ambos extremos del rango de madurez, lo que haría que el despliegue parcial fuera poco gratificante a niveles bajos. En el rango observado aquí, la respuesta es graduada y casi constante en probabilidades logarítmicas, y la edad del programa pierde su efecto independiente una vez controlada la madurez. En conjunto, estos resultados especifican la proposición con mayor precisión: el rendimiento responde a hasta qué punto ha avanzado el


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

despliegue, por un factor similar en cada paso, y el tiempo contribuye al rendimiento a través de la madurez que permite alcanzar a una planta. Estos datos no respaldan una teoría de la madurez que trate el despliegue parcial como un estado de transición sin retornos.

La contribución metodológica se refiere a la medición y es la que más probablemente se transfiera a otros estudios. Una medida de madurez conjuntiva —que requiere que las doce prácticas superen el mismo umbral— discrimina claramente, y la descomposición por paquetes sugiere por qué: las prácticas más ampliamente utilizadas son las menos capaces de distinguir entre las de alto rendimiento y las de bajo rendimiento, precisamente porque son casi universales. Una media entre prácticas permitiría que esas prácticas abundantes dominaran el compuesto y enmascararan la ausencia de las raras. Esto es coherente con la interpretación sociotécnica de lean, en la que los efectos surgen de la interacción entre las partes más que de su suma (12,13), y sugiere que la práctica generalizada de construir puntuaciones de lean como promedios (6,11,39) puede subestimar sistemáticamente la relación madurez–rendimiento. La contribución radica en establecer la forma funcional de una medida de madurez como una elección sustantiva: la forma conjuntiva se deriva de la definición de amplitud (Sección 1.1.2), y la homogeneidad de pendientes reportada en la Sección 3.4 proporciona la condición empírica que justifica aplicar un umbral a todas las prácticas. No se realizó una comparación directa entre la medida conjuntiva y un índice basado en el promedio sobre los mismos datos y sigue pendiente de más trabajo.

### Evidencia corroborativa e implicaciones para los programas multiplanta

La dirección de la asociación está corroborada por evidencia reciente a nivel de planta. Estudios en envases, hormigón prefabricado y fabricación general informan de avances operativos que siguen al despliegue del mismo conjunto de prácticas (40,41,42), y los análisis que modelan el camino desde la estrategia enxuta hasta el rendimiento lo consideran mediado más que directo (39,43). Dos matizes de esa literatura influyen en el resultado actual. La cultura organizativa y la agilidad condicionan hasta qué punto un programa técnico se traduce en rendimiento (44), y la integración de tecnologías digitales está transformando lo que significa desplegar en la práctica (45,46). Ninguno de los dos se mide aquí, y ambos son motivos para interpretar la asociación estimada como condicional a un contexto que este diseño mantiene fijo.

Para la gestión de programas multiplanta, los resultados sitúan la restricción vinculante. La literatura ha señalado desde hace tiempo la tensión entre la conformidad global y la autonomía local en los programas de mejora corporativa (15,29). Los resultados actuales indican dónde se concentra esa tensión: en las prácticas que una planta no puede resolver dentro de los límites de una sola zona de trabajo. Los recursos corporativos parecen dar más resultados cuando se concentran allí que cuando se distribuyen de forma uniforme a lo largo de todo el conjunto de prácticas.

### Limitaciones

Seis limitaciones matizan estos hallazgos; las cuatro primeras derivan de las decisiones de diseño justificadas en la Sección 2.1 y se reiteran aquí para su influencia en la interpretación. El diseño es transversal, por lo que la asociación no puede leerse causalmente; la dirección desde la madurez


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

hasta el rendimiento está teóricamente motivada (4) pero no está establecida aquí. El predictor y el resultado provienen del mismo informante y del mismo instrumento, lo que genera variación común del método (47); los diagnósticos reportados en la Sección 3.4 no detectan un factor de método dominante, y la naturaleza conductual de la escala de cobertura, que pregunta qué proporción de la planta cubre una práctica en lugar de qué tan buena es, limita aún más el riesgo, pero un diseño con un solo informante no puede eliminarlo. La muestra es no probabilística y procede de cuatro sectores de fabricación multinacional en México, por lo que las proporciones no deben extrapolarse a la base manufacturera más amplia. Dado que algunas empresas contribuyen con más de una planta, las observaciones de la misma empresa pueden compartir influencias corporativas no medidas, como contenido del programa, apoyo a la sede central o auditorías internas. La dependencia es limitada en la variable de interés, porque las plantas que ejecutan el mismo programa corporativo pueden diferir ampliamente en madurez (4), y depende principalmente de la precisión de las estimaciones. Los identificadores de empresa fueron eliminados antes del análisis para preservar el anonimato, por lo que la dependencia no pudo modelarse con errores agrupados por empresa, y los intervalos de confianza reportados pueden ser algo más estrechos que los que produciría una corrección de este tipo. La prueba de tendencia ($z = 6,63$) seguiría siendo significativa en el nivel del 5 por ciento a menos que el agrupamiento inflara su error estándar más de tres veces. El lado del resultado es incompleto en un aspecto específico: el mantenimiento productivo total está entre las doce prácticas medidas, pero solo se registra su cobertura de despliegue, y no se midieron los resultados próximos a través de los cuales se espera que actúe – fiabilidad del equipo, mantenibilidad y disponibilidad, y la efectividad global del equipo que los resume –, por lo que no se observa aquí el mecanismo que vincula la práctica de mantenimiento con el rendimiento de la planta (14,48,49,50,51). Finalmente, el estudio cubre únicamente el subsistema técnico del XPS; el subsistema social, que la literatura identifica como la parte en la que los modelos XPS más divergen del TPS (1), está fuera de su alcance.

## Conclusiones

El estudio preguntó si la madurez del sistema técnico de modelos XPS predice un alto rendimiento operativo cuando se hace la comparación entre empresas, programas corporativos y sectores, y si la asociación es graduada o similar a un umbral. La evidencia de plantas multinacionales en México responde a ambas partes de la pregunta. La madurez está asociada con un alto rendimiento entre empresas (H1); la asociación crece paso a paso a lo largo de los cuatro niveles de madurez, sin un umbral por debajo del cual el despliegue no produzca nada (H2); y persiste cuando la antigüedad del programa, el tamaño de la planta y el sector se mantienen constantes (H3).

En conjunto, los tres resultados cambian lo que se puede inferir del estado de un programa corporativo. Haber adoptado un XPS, pertenecer al sector automovilístico, gestionar una planta grande o haber iniciado el programa hace muchos años no indica por sí solo que una planta vaya a funcionar bien. Lo que lo indica es la integridad con la que se despliegan las doce prácticas técnicas, y cada paso hacia la completitud está asociado a mejores resultados. Para las filiales de economías emergentes, donde los recursos para el despliegue son limitados y asignados por la propia planta, el progreso parcial puede justificarse en sus propios términos. Dado que la madurez


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

se midió conjuntivamente, los resultados también sugieren que el progreso cuenta cuando se extiende a todas las prácticas, incluidas aquellas aún no ampliamente extendidas, aunque solo un diseño longitudinal podría establecer esto como regla de despliegue.

La respuesta está limitada por el diseño. Dado que los datos son seccionales transversales y provienen de un informante por planta, el estudio establece la existencia y forma de la asociación pero no su dirección, y el extremo inferior de la curva de respuesta, donde la cuenta de la curva S predice un segmento plano, se sitúa fuera del rango observado.

A continuación se siguen directamente tres líneas de continuación. Un diseño longitudinal establecería la dirección de la asociación y permitiría observar el segmento inferior de la curva de respuesta. Extender la medición al subsistema social comprobaría si su despliegue sigue un orden propio o acompaña al del sistema técnico. Y la replicación en otras economías manufactureras emergentes establecería si el resultado nulo por sector y tamaño es una característica de la población multinacional de plantas mexicanas o general.

## Declaraciones

Ética. El estudio consistió en una encuesta voluntaria y anónima a profesionales que informaban sobre prácticas organizativas en su planta. No se recopilaron datos personales, sensibles ni identificativos ni se realizó ninguna intervención; la participación implicaba consentimiento informado, y los identificadores de planta y empresa se eliminaron antes del análisis.

Financiación. Esta investigación no recibió financiación externa.

Uso de inteligencia artificial. Las herramientas de IA generativa se utilizaron únicamente para ayudar en la edición del lenguaje y mejorar la claridad del manuscrito. No se utilizó ninguna herramienta de IA para generar datos, realizar análisis estadísticos, interpretar hallazgos o determinar el contenido científico o las conclusiones del estudio. El autor revisó críticamente y aprobó todas las revisiones asistidas por IA y sigue siendo plenamente responsable del manuscrito.

Conflicto de intereses. El autor declara no haber conflicto de intereses en el desarrollo o publicación de esta investigación.

Disponibilidad de datos. Los datos que respaldan los hallazgos están disponibles del autor previa solicitud razonable, en forma anonimizada y sin identificación de las plantas participantes.

Trabajo relacionado. Los datos proceden de una única encuesta en plantas multinacionales de fabricación en México, de la cual se extraen estudios diferenciados por pregunta de investigación y submuestra. Un estudio anterior, ya publicado (26), se basó en una parte anterior de esta encuesta, cuya recopilación de datos continuó posteriormente; describe qué prácticas lean se adoptan, distingue la adopción parcial de la integral e informa que la adopción no difiere significativamente entre sectores industriales; no contiene ninguna medida del rendimiento operativo ni un modelo inferencial. El presente estudio introduce el rendimiento operativo como variable dependiente, define una medida de madurez de cuatro niveles y prueba si la madurez predice el desempeño. No informa de ningún resultado descriptivo publicado previamente.


doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

# Referencias

(1) Netland TH. Explorando el fenómeno de los sistemas de producción específicos de la empresa: ¿una sola mejor manera o su propia mejor manera? Int J Prod Res. 2013; 51(4):1084-97.

https://doi.org/10.1080/00207543.2012.676686

(2) Netland TH, Aspelund A. Sistemas de producción específicos de la empresa y ventaja competitiva: una visión basada en recursos sobre el Sistema de Producción Volvo. Int J Oper Prod Manag. 2013; 33(11/12):1511-31.

https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2010-0171

(3) Hekneby T, Ingvaldsen JA, Benders J. Aprendizaje orquestado: creación de un sistema de producción específico para la empresa (XPS). Int J Lean Six Sigma. 2022; 13(2):361-81.

https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2020-0139

(4) Netland TH, Ferdows K. El efecto curva S de la implementación lean. Prod Oper Manag. 2016; 25(6):1106-20.

https://doi.org/10.1111/poms.12539

(5) Shortell SM, Blodgett JC, Rundall TG, Henke RM, Reponen EM. Gestión Lean y Rendimiento Hospitalario: Adopción vs. Implementación. Revista de la Comisión Conjunta sobre Calidad y Seguridad del Paciente. 2021; 47(5):296-305.

https://doi.org/10.1016/j.jcjq.2021.01.010

(6) Liu F, Yu Y, Fang Y, Shi Y, Xiao S. Estrategia Lean en pymes: Agilidad de inventarios, agilidad operativa y rendimiento financiero. Asian Journal of Shipping and Logistics. 2024; 40(2):109-117.

https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2024.02.003

(7) Henríquez-Machado R, Muñoz-Villamizar AF, Santos J. Sostenibilidad a través de la excelencia operativa: una perspectiva de país emergente. Sostenibilidad (Suiza). 2021; 13(6):3165.

https://doi.org/10.3390/su13063165

(8) Yilmaz M. El papel moderador de la cultura organizacional en el efecto de la producción lean sobre el rendimiento operativo. International Journal of Lean Six Sigma. 2026; 17(1):44-70.

https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2024-0241

(9) Setianto P, Haddud A. Evaluación de madurez de las prácticas de desarrollo enxuto en la industria manufacturera. Int J Adv Oper Manag. 2016; 8(4):294-322.

https://doi.org/10.1504/IJAOM.2016.084150

(10) Negrão LLR, Godinho Filho M, Marodin G. Prácticas Lean y su efecto en el rendimiento: una revisión bibliográfica. Prod Plan Control. 2017; 28(1):33-56.

https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1231853

(11) Shah R, Ward PT. Definición y desarrollo de medidas de producción engrata. J Oper Manag. 2007; 25(4):785-805.

https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019

(12) Liu C, González VA, Pavez I, Tortorella GL, Abdelmegid M. Explorando las interacciones sociotécnicas asociadas con la implementación lean: revisión sistemática de la literatura.



doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

Planificación y control de producción. 2025; 36(15):2109-2141.

https://doi.org/10.1080/09537287.2025.2455432

(13) Minshull LK, Dehe B, Kotcharin S. Explorando el impacto de una implementación lean secuencial dentro de una microempresa – Una perspectiva sociotécnica. Journal of Business Research. 2022;151:156-169.

https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.06.052

(14) McKone KE, Schroeder RG, Cua KO. El impacto de las prácticas de mantenimiento productivo total en el rendimiento de la fabricación. J Oper Manag. 2001; 19(1):39-58.

https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00030-9

(15) Antony J, Sony M, McDermott O, Doulatabadi M, Koul R. Un estudio empírico sobre las razones del fracaso en mantener iniciativas de excelencia operativa en las organizaciones. TQM Journal. 2023; 35(7):1569-1587.

https://doi.org/10.1108/TQM-05-2022-0176

(16) Mohd Aripin N, Nawanir GB, Hussain SB, Moshood TD. Hacia un éxito lean sostenible: revisión sistemática de la literatura sobre factores críticos de fallo. Sostenibilidad tecnológica. 2024; 3(3):332-353.

https://doi.org/10.1108/TECHS-11-2023-0042

(17) Naughton E, Moran R, Kharub M, de Sá JC, McDermott O. Un modelo estructurado para la metodología de mejora continua desplegamiento y sostenimiento: Un estudio de caso. Heliyon. 2024; 10(21):e40034.

https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40034

(18) Chaple AP, Narkhede BE, Akarte MM, Raut RD. Modelización de las barreras lean para una implementación lean exitosa: enfoque TISM. Revista Internacional de Lean Six Sigma. 2021; 12(1):98-119.

https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2016-0063

(19) de la Vega M, Macias-Velázquez S, Baez-López YA, Tlapa DA, Chávez-Moreno EA. Modelización de factores críticos de éxito de la estrategia Lean en la industria manufacturera. Sistemas. 2023; 11(10):490.

https://doi.org/10.3390/systems11100490

(20) Limon-Romero J, García-Alcaraz JL, Gastelum-Acosta C, Baez-Lopez YA, Tortorella GL. Hacia la adopción exitosa de Lean Six Sigma en organizaciones manufactureras: proponiendo un modelo causal. International Journal of Productivity and Performance Management. 2025; 74(6):1897-1918. https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2024-0436

(21) Henríquez-Machado R, Muñoz-Villamizar AF, Santos J. Hoja de ruta para mejorar la excelencia operativa en países emergentes. Heliyon. 2024; 10(10):e30852.

https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30852

(22) Trakulsunti Y, Antony J, Garza-Reyes JA, Chuayjan W, Foster M. Una exploración de la implementación de metodologías de excelencia operativa en los sectores logísticos: un estudio global. TQM Journal. 2025; 37(3):709-725.

https://doi.org/10.1108/TQM-10-2023-0313

(23) Caamano-Gordillo LD, Castro-Vera LD, González Vásquez AE, Rojas Párraga TC. Optimización

de la producción en planta de envasado plástico: Modelo de Excelencia Operativa en Manufactura Lean. En: Rivas-Lalaleo D, Sinche Maita SL, editores. ETCM 2024 - 8ª Reunión de Capítulos Técnicos de Ecuador; 15-18 de octubre de 2024; Cuenca, Ecuador. Piscataway (NJ): IEEE; 2024.

https://doi.org/10.1109/ETCM63562.2024.10746192

(24) García-Alcaraz JL, Díaz Reza JR, Sánchez Ramírez C, Limón Romero J, Jiménez Macías E, Lardiés CJ, et al. Herramientas de fabricación enxutas aplicadas al flujo de materiales y su impacto en la sostenibilidad económica. Sostenibilidad. 2021; 13(19):10599.

https://doi.org/10.3390/su131910599

(25) Chávez-Pineda JA. Adopción parcial y integral de prácticas de sistemas técnicos Lean en la industria manufacturera de maquiladoras en México. RECAI: Rev Estud Contad Adm Inform. 2021; 11(30):28-50.

https://doi.org/10.36677/recai.v11i30.16919

(26) Chávez-Pineda JA. Prácticas Enlesas en México: análisis de adopción en plantas multinacionales. TECNOCIENCIA Chihuahua. 2025; 19(Especial):e1975.

https://doi.org/10.54167/tch.v19iEspecial.1975

(27) Sugimori Y, Kusunoki K, Cho F, Uchikawa S. Sistema de producción Toyota y sistema Kanban: materialización del sistema justo-in-tiempo y respeto por el ser humano. Int J Prod Res. 1977; 15(6):553-64.

https://doi.org/10.1080/00207547708943149

(28) Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Morales-García AS. Orígenes y conceptos de Fabricación Lean. En: Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Morales-García AS. Mejores prácticas en Manufactura Lean. Cham: Springer; 2022. p. 1-14. (SpringerBriefs en Ciencias Aplicadas y Tecnología).

https://doi.org/10.1007/978-3-030-97752-8_1

(29) Netland TH, Aspelund A. Programas de mejora multiplanta: una revisión bibliográfica y agenda de investigación. Int J Oper Prod Manag. 2014; 34(3):390-418.

https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2012-0087

(30) Anass C, Garza-Reyes JA, Belhadi A, Kamble SS, El Baz J. Un modelo de autoevaluación de preparación para implementar iniciativas de lean verde. Journal of Cleaner Production. 2021;309:127401.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127401

(31) Espírito Santo PPPD, Ayala NF, Frank AG. Aprendiendo del desarrollo de modelos de madurez digital en la manufactura: un enfoque de investigación en ciencia del diseño. Planificación y control de producción. 2026.

https://doi.org/10.1080/09537287.2026.2709637

(32) Saeed B, Tasmin R, Mahmood A, Hafeez A. Desarrollo de una escala de Excelencia Operativa de múltiples ítems: análisis factorial exploratorio y confirmatorio. TQM Journal. 2022; 34(3):576-602. https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0227

(33) Dave Y, Sohani N. Mejora de la productividad mediante prácticas lean en industrias manufactureras con sede en el centro de la India. Int J Lean Six Sigma. 2019; 10(2):601-21.



doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123

https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2017-0115

(34) Firth D. Reducción de sesgo de las estimaciones de máxima verosimilitud. Biometrika. 1993; 80(1):27-38.

https://doi.org/10.1093/biomet/80.1.27

(35) Heinze G, Schemper M. Una solución al problema de la separación en regresión logística. Stat Med. 2002; 21(16):2409-19.

https://doi.org/10.1002/sim.1047

(36) Lindell MK, Whitney DJ. Teniendo en cuenta la variación común de métodos en diseños de investigación transversal. J Appl Psychol. 2001; 86(1):114-21.

https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.1.114

(37) Kosmidis I, Firth D. Jeffreys-penalización, finitud y contracción previa en modelos lineales generalizados de respuesta binomial. Biometrika. 2021; 108(1):71-82.

https://doi.org/10.1093/biomet/asaa052

(38) Chatha KA, Jajja MSSSS, Gillani F, Farooq S. Examinando los efectos del marco tecnología–organización–entorno sobre el rendimiento operativo mediante la integración de la cadena de suministro de la empresa. Benchmarking. 2024; 31(5):1797-1825.

https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2022-0665

(39) Mirali F, Jebbor I, Raouf Y, Jizat JEM, Hanaa H. Impulsando la excelencia manufacturera: el papel de las estrategias Lean y los factores mediadores en la mejora del rendimiento. Revisión de Ingeniería de Gestión y Producción. 2025; 16(3).

https://doi.org/10.24425/mper.2025.156139

(40) Habib MA, Rizvan R, Ahmed S. Implementación de la fabricación enxuta para mejorar el rendimiento operativo en una planta de etiquetado y envasado: Estudio de caso en Bangladesh. Resultados en ingeniería. 2023;17:100818.

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100818

(41) Dara HM, Raut AN, Adamu M, Ibrahim YE, Ingle PV. Reducción de actividades sin valor añadido (NVA) mediante herramientas lean para la industria prefabricada. Heliyon. 2024; 10(7):e29148. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29148

(42) Gavriluță AC, Nițu EL, Gavriluță CA. Algoritmo para utilizar algunos métodos específicos de fabricación enlecente: Aplicación en un proceso de producción industrial. Procesos. 2021; 9(4):641. https://doi.org/10.3390/pr9040641

(43) Tayal A, Kalsi NS, Gupta MK, Pimenov DY, Sarikaya M, Pruncu CI. Mejora de la eficacia en la industria manufacturera; Estudio de Trilogía y Dinámicas de Innovación Abierta. Revista de Innovación Abierta: Tecnología, Mercado y Complejidad. 2021; 7(1):7.

https://doi.org/10.3390/joitmc7010007

(44) Carvalho AM, Sampaio PADCA, Rebentisch ES, Carvalho JÁ, Saraiva PMTLDA. Excelencia operativa, cultura organizativa y agilidad: cerrar la brecha entre calidad y adaptabilidad. Gestión Total de la Calidad y Excelencia Empresarial. 2023; 34(11-12):1598-1628.

https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2191844

(45) Bueno AF, Goyannes Gusmão Caiado R, Guedes de Oliveira TL, Godinho Filho M, Tortorella GL. Marco de implementación Lean 4.0: Proposición utilizando un enfoque de investigación multimétodo. International Journal of Production Economics. 2023;264:108988.

https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108988

(46) Yilmaz A, Dora MK, Hezarkhani B, Kumar M. Lean y la industria 4.0: Mapeando determinantes y barreras desde una perspectiva social, medioambiental y operativa. Previsión tecnológica y cambio social. 2022;175:121320.

https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121320

(47) Podsakoff PM, MacKenzie SB, Lee JY, Podsakoff NP. Sesgos comunes de método en investigación conductual: revisión crítica de la literatura y remedios recomendados. J Appl Psychol. 2003; 88(5):879-903.

https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

(48) Vikas, Mishra A. Evaluación de los factores de adopción de TPM en organizaciones manufactureras utilizando el método Fuzzy PIPRECIA. Revista de Calidad en Ingeniería de Mantenimiento. 2024; 30(1):101-119.

https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0115

(49) Shannon N, Trubetskaya A, Iqbal J, McDermott O. Un marco total de mantenimiento productivo y fiabilidad para una planta de ingredientes farmacéuticos activos utilizando diseño para Lean Six Sigma. Heliyon. 2023; 9(10):e20516.

https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516

(50) Mohan R, Preetha Roselyn J, Uthra RA, Devaraj D, Umachandran K. Enfoque inteligente basado en aprendizaje automático de mantenimiento productivo total para lograr cero paradas en maquinaria industrial. Informática e Ingeniería Industrial. 2021;157:107267.

https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107267

(51) Ferreira N, Sebbe NPV, Andrade F, Casais RCB, Magalhães LL. Mejora de la disponibilidad operativa de la línea de producción de bebidas mediante TPM reforzada por mantenimiento autónomo. En: Pereira MT, Silva FJG, Ivanov V, Pinto I, Pinto Ferreira L, editores. Avances en Diseño, Simulación y Fabricación VIII. Actas de la 8ª Conferencia Internacional sobre Diseño, Simulación y Fabricación: El Intercambio de Innovación, DSMIE-2025; 17-20 de junio 2025; Oporto, Portugal. Vol. 4: Gestión Industrial. Cham: Springer; 2026. p. 3-13. (Notas de Conferencia en Ingeniería Mecánica).

https://doi.org/10.1007/978-3-032-07144-6_1



doi: 10.25100/iyc.v28i3.16123