

Artículo Científico

De maquiladoras a centros de innovación: estrategias para superar las barreras arancelarias en la industria manufacturera del norte de México

*From maquiladoras to innovation hubs: Strategies to overcome tariff
barriers in the manufacturing industry of northern Mexico*

Juan Francisco Valdéz Herrera^{1*}

¹ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua. Av. H. Colegio Militar 4700, Nombre de Dios, 31150 Chihuahua, Chih.

*Correspondencia: Correo electrónico: jfcovaldez@gmail.com (Juan Francisco Valdéz)

Recibido: 17 de junio de 2025; **Aceptado:** 31 de julio de 2025

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado

Resumen

La industria manufacturera de Chihuahua, tradicionalmente basada en maquila intensiva y baja autonomía local, enfrenta un entorno internacional marcado por tensiones geopolíticas, aranceles elevados y disrupciones en las cadenas de suministro globales. El acuerdo entre EE. UU. y China del 11 de junio de 2025 —con tarifas del 55 % y 10 % y la reanudación parcial de exportaciones de tierras raras (TR)— acentúa la urgencia de evolucionar hacia ecosistemas productivos resilientes e innovadores. Este estudio, basado en metodología mixta, demuestra que la autonomía local en innovación mejora significativamente la eficiencia operativa ($R^2 = 0.72$). Se recomienda adoptar metodologías *Lean*, *Kanban*, *Design Thinking* e *Industria 4.0*, diversificar proveedores fuera de Asia, fortalecer el *nearshoring* y crear alianzas con universidades texanas para formar talento especializado. El artículo propone un modelo replicable para convertir maquiladoras en centros de manufactura avanzada, especialmente en sectores estratégicos como el automotriz, aeroespacial, de semiconductores y dispositivos médicos. Esta transición es crucial para sostener la competitividad del estado y del norte de México en el nuevo orden industrial global.

Palabras clave: industria 4.0, maquiladoras, resiliencia industrial, cadenas de valor globales, nearshoring

Abstract

The manufacturing industry in Chihuahua, traditionally based on labor-intensive maquiladora operations with limited local autonomy, is now navigating an international environment marked by geopolitical tensions, elevated tariffs, and disruptions in global supply chains. The U.S.–China agreement of June 11, 2025—which includes 55% and 10% tariffs and the partial resumption of rare-earth elements (REE) exports—highlights the urgent need to transition toward resilient and innovative production ecosystems. This mixed-methods study shows that local innovation autonomy significantly improves operational efficiency ($R^2 = 0.72$). It recommends adopting Lean, Kanban, Design Thinking, and Industry 4.0 methodologies; diversifying suppliers beyond Asia; strengthening nearshoring strategies; and forging partnerships with Texan universities to develop specialized talent. The article proposes a replicable model for transforming maquiladoras into advanced manufacturing centers, particularly in strategic sectors such as automotive, aerospace, semiconductors, and medical devices. This transition is critical to maintaining the competitiveness of the state and northern Mexico in the emerging global industrial order.

Keywords: *industry 4.0, maquiladoras, industrial resilience, global value chains, nearshoring*

Introducción

Durante décadas, la industria maquiladora en Chihuahua ha sido un pilar fundamental del desarrollo industrial de México, aprovechando acuerdos comerciales que permitieron la importación libre de aranceles de insumos para su transformación y posterior exportación hacia los Estados Unidos (EE. UU.). Este modelo impulsó el crecimiento económico al capitalizar mano de obra eficiente en costos, cadenas de suministro optimizadas y una profunda integración con las redes manufactureras de América del Norte. En 2023, México se consolidó como el principal socio comercial de EE. UU., con un volumen total de comercio de más de 470 mil millones de dólares, superando a China y Canadá (Morales, 2023), tendencia mantenida en 2024 (U.S. Census Bureau, 2025). Chihuahua, en particular, aportó cerca del 15 % de las exportaciones mexicanas al vecino del norte en dicho periodo, reafirmando su papel estratégico en manufactura avanzada, electrónica y componentes automotrices (INEGI, 2024).

No obstante, las crecientes tensiones geopolíticas, las políticas proteccionistas en EE. UU., y la imposición de nuevas restricciones comerciales evidencian la necesidad de transformar el modelo actual, basado en el ensamblaje hacia un ecosistema industrial impulsado por la innovación. Esta evolución requiere una inversión decidida en tecnologías de la *Industria 4.0*, desarrollo del capital humano, y digitalización integral de las cadenas de suministro para mantener la competitividad global. Las fábricas inteligentes, la analítica predictiva, y la

automatización basada en Inteligencia Artificial (IA), se han vuelto indispensables para lograr flexibilidad operativa, trazabilidad y eficiencia productiva.

La convergencia de principios de *Lean Manufacturing* o manufactura esbelta (LM) y *Design Thinking* (DT) con sistemas ciberfísicos, producción autónoma y logística en tiempo real, demandan una transformación digital profunda en sectores industriales en Chihuahua. Más allá de la adopción tecnológica, será clave establecer incentivos públicos alineados con objetivos de desarrollo regional, y fomentar asociaciones estratégicas entre el sector privado, instituciones académicas y gobiernos locales. De este modo, Chihuahua podrá consolidarse como un referente global en manufactura de nueva generación, reforzando su liderazgo en el dinámico panorama industrial de América del Norte.

Para contextualizar, LM “es una metodología de gestión que busca maximizar el valor para el cliente al eliminar desperdicios y optimizar los procesos” y que utiliza Kanban como una de sus herramientas para controlar visualmente la óptima gestión de materiales en cuanto a flujos e inventarios, evitando sobre producción o los tiempos muertos por escasez de insumos (García, 2023, sección Negocios, párr. 1). Mientras que el DT es un método consistente en un marco innovativo con flujo de pensamiento no lineal cuya filosofía central consiste en priorizar al usuario, anteponiendo como premisa el sistematizar el proceso como un continuo, garantizando la viabilidad económica de los productos o soluciones de ahí surgidos, así como su constante innovación (Downie, 2024, sección ¿Qué es el design thinking?, párr.1).

Objetivos

El propósito principal de esta investigación es analizar cómo la transformación del modelo tradicional de maquila hacia un ecosistema manufacturero orientado a la innovación puede fortalecer la competitividad industrial del estado de Chihuahua en el contexto de la nueva economía global, caracterizada por tensiones geopolíticas, restricciones arancelarias y acelerada evolución tecnológica.

Para lograr este propósito general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar el grado de autonomía local en la toma de decisiones dentro de las plantas maquiladoras y su impacto en la capacidad de innovación y eficiencia operativa.
2. Analizar las barreras estructurales que enfrentan las empresas manufactureras de Chihuahua ante un entorno comercial volátil, particularmente las derivadas de la centralización corporativa, la dependencia de proveedores asiáticos y la rigidez de los procesos organizacionales.

3. Medir la relación entre capacidad de innovación y eficiencia de los procesos de manufactura, utilizando métodos estadísticos como análisis de regresión lineal y coeficientes de correlación para validar hipótesis sobre su interdependencia.
4. Explorar cómo la implementación de tecnologías de la Industria 4.0, como IA, automatización avanzada, blockchain, analítica predictiva y gemelos digitales, contribuye a mitigar riesgos logísticos, mejorar la trazabilidad y optimizar la producción.
5. Proponer estrategias de política industrial y de formación de talento, centradas en la creación de clusters regionales, alianzas universidad-industria y programas binacionales con Texas, que fortalezcan la preparación del capital humano ante los desafíos de la digitalización y la manufactura avanzada.
6. Establecer recomendaciones prácticas para la reconfiguración de cadenas de suministro regionales, a través del nearshoring, la diversificación de proveedores y la digitalización de operaciones logísticas, con especial énfasis en sectores estratégicos como automotriz, aeroespacial, semiconductores y dispositivos médicos.

Revisión de la literatura

Dentro del marco del nuevo acuerdo comercial EE. UU.–China del 11 de junio de 2025, tras una nueva ronda de negociaciones celebrada en Londres, y en seguimiento a los acuerdos preliminares de Ginebra, donde la administración del presidente Donald Trump anunció un acuerdo parcial de entendimiento con el gobierno asiático, se destacan implicaciones para Chihuahua. En el mismo se establece que el vecino del norte mantendrá aranceles del 55 % sobre productos del país asiático, mientras que este último aplicará una tarifa del 10 %, sobre bienes norteamericanos. A cambio, se comprometió a reanudar de manera parcial las exportaciones de minerales estratégicos, entre ellos el de TR e imanes críticos, fundamentales para sectores de alta tecnología como los semiconductores, motores eléctricos, dispositivos médicos y sistemas aeroespaciales (Kurtenbach y Weissert, 2025).

Aunque se presentó como un pacto diplomático, se advierte que el alcance del mismo es limitado y no resuelve las tensiones estructurales en torno al control de la cadena de suministro global. La persistencia de aranceles elevados y la falta de claridad en su implementación generan un entorno de incertidumbre prolongada que impacta directamente a regiones directamente insertadas en procesos manufactureros globales, como lo es el norte de México.

Ante este panorama, las empresas instaladas en Chihuahua deben adoptar una estrategia de vigilancia activa y planificación adaptativa. Más que confiar en una eventual estabilización del comercio internacional, resulta necesario anticipar

disrupciones, fortalecer la resiliencia operativa y aprovechar los espacios estratégicos que surgen con la reconfiguración del intercambio bilateral entre Washington y Pekín.

De particular interés es la reapertura parcial de las exportaciones de TR, que puede traducirse en ventajas indirectas para las cadenas de producción regionales. Industrias con presencia consolidada en la entidad, como la electrónica, automotriz, aeroespacial y de dispositivos médicos, están en posición de incorporar estos insumos en productos de alto valor añadido, orientados al mercado norteamericano. Esta ventana de oportunidad se vuelve aún más relevante en el actual contexto de nearshoring, donde la relocalización de cadenas fuera de Asia refuerza el papel estratégico del corredor manufacturero fronterizo.

En lo tocante a oportunidades para Chihuahua ante el acceso renovado a TR, la reanudación parcial de exportaciones chinas de dichos insumos y de imanes críticos —derivada del marco comercial EE. UU.–China anunciado en junio de 2025— ofrece ventanas de oportunidad indirectas para el ecosistema manufacturero en la entidad. Si bien estos insumos estratégicos no se producen localmente, su disponibilidad internacional mejora la viabilidad de establecer procesos industriales avanzados que dependen de dichos materiales para fabricar componentes tecnológicos de alto valor.

Sectores clave de la economía chihuahuense, como el aeroespacial, la electromovilidad, y la industria de semiconductores, pueden verse fortalecidos al integrarse más ágilmente a cadenas de suministro norteamericanas, que incorporan estos materiales críticos. Por ejemplo, empresas de componentes para motores eléctricos, sensores de navegación o módulos de baterías podrían establecer operaciones regionales con ventajas logísticas y acceso preferencial al mercado de EE. UU. (Lawless, 2025).

Para maximizar este potencial, se recomienda diseñar incentivos fiscales y de infraestructura que atraigan a compañías especializadas en manufactura avanzada basada en TR. Esto, puede incluir la creación de zonas industriales inteligentes con acceso a energía limpia, certificaciones de trazabilidad digital (blockchain) y programas de vinculación que involucren universidades locales y texanas en ingeniería de materiales y manufactura avanzada (Gámez-Garza et al., 2023).

Estrategias ante un entorno comercial volátil en el sector manufacturero

La persistente inestabilidad del comercio internacional —agudizada por la incertidumbre en torno al citado marco EE. UU.–China y la continuidad de aranceles elevados— obliga a las empresas manufactureras de Chihuahua a adoptar estrategias de resiliencia más sofisticadas y proactivas. La exposición constante a interrupciones en la cadena de suministro, restricciones aduaneras y variaciones arancelarias exige una reconfiguración táctica sustentada en tecnologías emergentes y alianzas logísticas inteligentes.

Una de las prioridades inmediatas es la diversificación geográfica de proveedores para reducir la dependencia de Asia —especialmente en componentes electrónicos, semiconductores y materiales especializados— lo que contribuirá a mitigar riesgos ante tensiones geopolíticas. Establecer vínculos con fabricantes de EE. UU., América Latina o Europa del Este puede fortalecer cadenas de suministro regionales más sólidas y resistentes (Raza, 2025).

Paralelamente, la incorporación de tecnologías como *blockchain* abre nuevas posibilidades en trazabilidad, cumplimiento normativo (compliance) y monitoreo documental en tiempo real. Su integración con sistemas ERP y plataformas aduanales permite disminuir errores humanos, facilitar auditorías y asegurar el cumplimiento de estándares como los exigidos en el Tratado entre México, EE. UU. y Canadá (T-MEC) y en los lineamientos de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) en sectores regulados.

Asimismo, la automatización de procesos logísticos en frontera mediante IA —con algoritmos predictivos de tiempos de cruce, inspección remota y despacho automatizado— ofrece una vía eficaz para reducir costos y retrasos en el comercio transfronterizo. Tecnologías como visión por computadora, sensores del nivel de utilización para *internet de las cosas* (IoT) y análisis predictivo permitirán gestionar la creciente complejidad operativa con un incremento considerable de agilidad y precisión.

Industria 4.0 y transformación manufacturera

Autores subrayan que la adopción de tecnologías de manufactura inteligente, automatización avanzada y digitalización integral incrementan notablemente la agilidad operativa y la eficiencia en costos, especialmente en contextos marcados por alta incertidumbre comercial. La integración de sistemas ciber físicos, redes de producción habilitadas por IoT y mecanismos de control de calidad basados en IA está transformando estructuralmente los ecosistemas manufactureros (Bajic et al., 2020)

Hossain (2024) sostiene que la combinación de principios *Lean* con innovaciones digitales permite desarrollar sistemas de producción inteligentes y autónomos, capaces de optimizar flujos de trabajo, elevar la utilización de maquinaria y reducir desperdicios de forma significativa. El uso de analítica predictiva y aplicaciones de aprendizaje automático (*machine learning*) facilita el análisis de datos en tiempo real, habilitando decisiones dinámicas y estratégicas en entornos industriales altamente competitivos.

Manufactura *Lean* y *Agile*

Expertos destacan que las herramientas digitales no solo mejoran la agilidad operativa, sino que también permiten a las empresas responder con rapidez y flexibilidad ante la volatilidad de la demanda. La integración de marcos *Lean* y *Agile*

con analítica avanzada, simulaciones potenciadas por IA y automatización en la nube provee a las organizaciones de capacidades para enfrentar disrupciones en la cadena de suministro e implementar mejoras continuas en tiempo real (Ballé et al., 2022).

Ferreira et al. (2023) enfatizan que la fusión entre metodologías *Lean* y procesos de digitalización no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que fortalece la resiliencia logística, especialmente en contextos transfronterizos. La mayor visibilidad de datos y las capacidades predictivas basadas en IA permiten una gestión más precisa de inventarios y una menor dependencia de redes de proveedores vulnerables. La implementación de automatización robótica de procesos (RPA por sus siglas en inglés) y tecnologías de IoT nivel industrial, mejoran la predictibilidad de los tiempos de ciclo e incrementan el rendimiento productivo, sin comprometer la eficiencia. Herramientas como el mapeo de flujo de valor, a decir de Rother y Shook (1999), permiten identificar desperdicios y oportunidades de mejora con mayor claridad.

El *Ramp-up* (R-U), concepto que será analizado posteriormente, es el proceso estructurado de transición desde la fase de desarrollo o preproducción hasta la fabricación a volumen completo, caracterizado por la optimización simultánea de recursos, procesos y cadenas de suministro para alcanzar los niveles de producción objetivo, mientras se minimizan riesgos de calidad, costos y tiempos muertos (Heraud et al., 2023).

Competitividad Impulsada por Política Pública

Los principales factores económicos y tecnológicos que inciden en la competitividad industrial que Schwab (2016) identificó, destacan la urgencia de que la región norte de México (maquiladora) como Chihuahua, adopte un enfoque basado en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). En este sentido, resulta fundamental impulsar programas gubernamentales de innovación industrial, establecer esquemas de incentivos para atraer inversión en manufactura de alta tecnología, y fomentar el desarrollo binacional de talento especializado.

Las alianzas regionales desempeñan un papel estratégico en el fortalecimiento de la sostenibilidad industrial y la cooperación transfronteriza, especialmente en un entorno de creciente convergencia tecnológica. Aquellas regiones económicas que integran capacidades compartidas en investigación y desarrollo, junto con marcos normativos comunes, estarán mejor posicionadas para enfrentar los retos del mercado global. La creación de corredores comerciales binacionales, la armonización de estándares de producción entre países y la inversión en tecnologías energéticamente eficientes son medidas clave para reforzar la resiliencia industrial de Chihuahua y elevar su competitividad internacional. En este sentido, Xu y Wang (2024) subrayan que estas estrategias resultan esenciales para consolidar estructuras productivas sostenibles y adaptables.

Metodología

La investigación se estructuró bajo un enfoque metodológico mixto, combinando estrategias cualitativas y cuantitativas para ofrecer una visión holística sobre la transformación de la industria maquiladora de Chihuahua hacia ecosistemas de manufactura avanzados, resilientes e innovadores. Esta integración metodológica permitió analizar no solo las métricas técnicas, sino también las dinámicas organizacionales, culturales y tecnológicas asociadas al cambio industrial contemporáneo.

En la fase cualitativa, se llevaron a cabo entrevistas a profundidad con actores estratégicos del sector industrial, académico y gubernamental, utilizando un muestreo intencional. Los participantes fueron seleccionados por su experiencia en temas de innovación, sostenibilidad, automatización y transformación digital. Estas entrevistas permitieron identificar barreras estructurales como la centralización corporativa, limitaciones en la adopción de tecnologías emergentes, y la posible falta de autonomía local. Se utilizó el análisis temático para codificar los datos cualitativos y detectar patrones relevantes, que luego guiaron el diseño del cuestionario estructurado. Esta fase incluyó además observaciones directas en plantas, revisión de documentos internos y análisis de material institucional.

Se aplicó también un enfoque de etnografía organizacional para comprender el impacto de la automatización sobre la dinámica laboral, el rediseño de roles, y los niveles de aceptación de nuevas tecnologías por parte de operarios y mandos intermedios. El análisis se complementó con mapas conceptuales derivados de las entrevistas, que reflejan los procesos de adaptación cultural en entornos industriales altamente digitalizados.

En la fase cuantitativa, se elaboró un cuestionario estructurado basado en los hallazgos cualitativos, validado mediante prueba piloto y dirigido a una muestra censal de 23 empresas exportadoras del sector metalmecánico, seleccionadas de un universo de 93 registros provistos por Index Chihuahua (2025). El instrumento contempló dimensiones como autonomía en la toma de decisiones, capacidad de innovación, eficiencia en procesos de manufactura e implementación de prácticas sostenibles. La codificación se realizó mediante escalas nominales y ordinales, y los datos fueron procesados en hojas de cálculo estructuradas utilizando una escala de cero a 100 para codificar las respuestas, asegurando su trazabilidad y consistencia.

Se aplicaron técnicas estadísticas como el análisis de regresión lineal y la correlación de Pearson para validar hipótesis sobre las relaciones entre las variables clave. Los resultados cuantitativos se compararon con las percepciones cualitativas obtenidas, lo que permitió identificar congruencias y discrepancias relevantes. Esta triangulación de datos fortaleció la validez interna del estudio y proporcionó una base robusta para las recomendaciones prácticas.

Complementando, se incorporaron estudios de caso transversales en sectores clave como son: el automotriz, aeroespacial, el de dispositivos médicos y electrónica,

los cuales permitieron la identificación de patrones comunes de adopción tecnológica, barreras operativas y estrategias de adaptación ante entornos geopolíticamente inciertos. Asimismo, se analizaron marcos normativos como el T-MEC (2020) y las implicaciones del acuerdo parcial EE. UU.– China de 2025, especialmente en lo relativo a aranceles y acceso a TR.

Las fuentes primarias incluyeron entrevistas, encuestas y observaciones en campo, mientras que las fuentes secundarias fueron conformadas por artículos científicos indexados, informes técnicos, publicaciones gubernamentales y documentos de organismos internacionales como la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) y la Organización Mundial para la Propiedad Intelectual (WIPO) —todas por sus siglas en inglés—. Esta triangulación bibliográfica permitió contextualizar los hallazgos regionales en el marco de las mejores prácticas internacionales.

El estudio fue de tipo aplicado, empírico, no experimental y de campo, con un horizonte temporal entre 2019 y 2024. Se enfocó en empresas consideradas grandes (Sy Corvo, 2023) del sector metalmecánico-exportador ubicadas en la ciudad de Chihuahua, seleccionadas por su nivel de integración a cadenas globales de valor. Criterios éticos como la confidencialidad de la información y el anonimato de las empresas participantes han sido considerados.

Resultados

El análisis cuantitativo realizado en plantas industriales del estado de Chihuahua arrojó los siguientes hallazgos respecto a la relación entre la Capacidad de Innovación (CI) y la Eficiencia de los Procesos de Manufactura (EPM). Estas variables fueron evaluadas a través de los cuestionarios ya citados, aplicados a empresas exportadoras del sector metalmecánico.

La CI se midió mediante las preguntas *¿Qué impacto tiene la centralización de las decisiones en la CI de su planta?* y *¿Hasta qué punto la planta local tiene la capacidad de implementar innovaciones sin necesidad de aprobación del corporativo?* La primera orientada a identificar el impacto de la centralización corporativa en la CI, obtuvo un promedio de 20.3 puntos, revelando una percepción generalizada de que las decisiones centralizadas restringen la capacidad de las plantas locales para generar mejoras. Mientras que la segunda pregunta, que indaga sobre la posibilidad de implementar innovaciones sin necesidad de aprobación corporativa, alcanzó una media de 34 puntos. Este valor sugiere que, si bien existe margen de acción en algunos procesos, las innovaciones locales suelen estar limitadas a áreas no estratégicas.

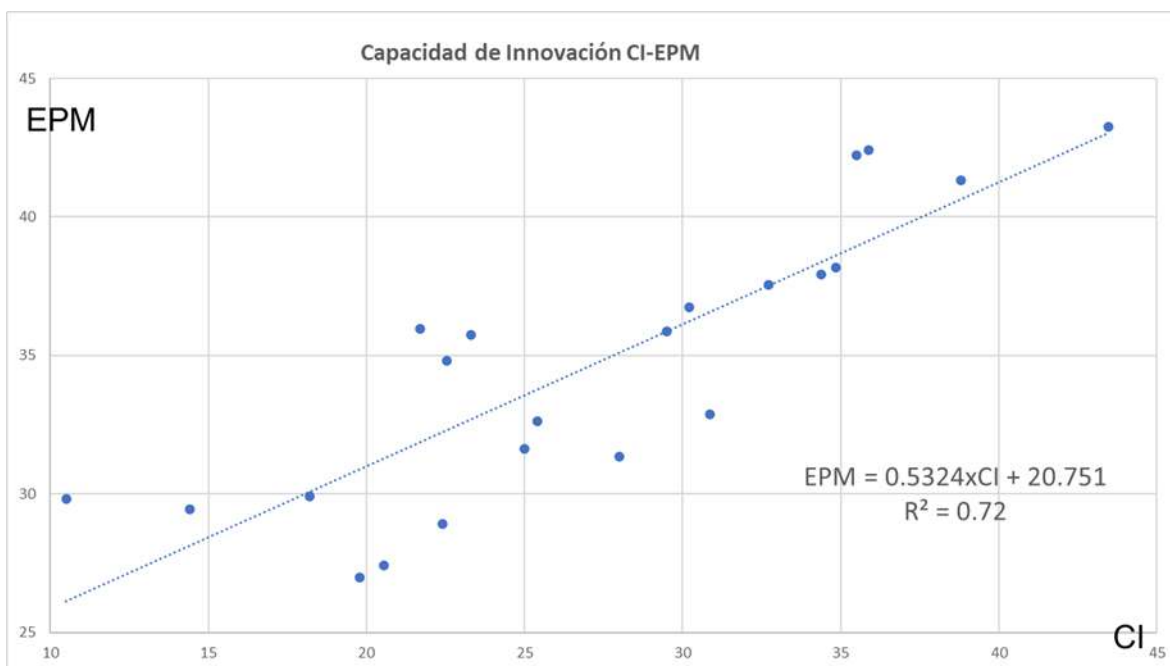
El promedio global de la CI fue de 27.2 puntos, con una desviación estándar de 8.4, lo que indica una capacidad innovadora general baja a moderada en las plantas evaluadas. El 60 % de las empresas reportaron puntajes inferiores a 30, confirmando una innovación muy restringida. Solo el 40 % se posicionó entre 30 y

50 puntos, lo cual refleja una limitada autonomía operativa para desarrollar innovaciones de impacto.

La EPM fue evaluada mediante las preguntas *¿Qué nivel de eficiencia presenta su planta durante los lanzamientos de nuevos productos, considerando tiempos de ciclo, defectos y cumplimiento de metas de producción?, ¿Con qué frecuencia su planta enfrenta los R-U —incrementos significativos en la producción— prolongados o retrasos en la estabilización de procesos durante los lanzamientos de producción? y ¿Cuál ha sido el desempeño promedio de su planta en términos de Eficiencia General del Equipo (EGE) durante las primeras semanas de producción de nuevos productos?*. Los indicadores clave analizados incluyeron la eficiencia operativa, los retrasos en R-U lo que hizo necesario preguntar *¿Con qué frecuencia su planta enfrenta R-U prolongados o retrasos en la estabilización de procesos durante los lanzamientos de producción?* y en lo tocante al desempeño EGE, se preguntó *¿Cuál ha sido el desempeño promedio de su planta en términos de EGE durante las primeras semanas de producción de nuevos productos?*.

Los resultados fueron considerablemente bajos: eficiencia operativa con un promedio de 35 puntos, R-U con 30 puntos y EGE con 32 puntos. Estas cifras indican deficiencias operativas estructurales, especialmente en fases tempranas de producción.

Entre los problemas más reportados se encontraron altas tasas de *scrap* (producto que no alcanza estándares y llega a ser considerado deshecho o desperdicio industrial) en lanzamientos de nuevos productos, desviaciones en tiempos de ciclo reales frente a los proyectados, y dificultades para estabilizar el proceso productivo durante los primeros ciclos de manufactura. Estas ineficiencias se vieron agravadas por deficiencias en el mantenimiento preventivo, fallas en la trazabilidad de procesos y escasa toma de decisiones basada en datos.



Fuente: elaboración propia

El análisis estadístico empleó un modelo de regresión lineal, obteniéndose la ecuación:

$$EPM = 0.53 \times CI + 20.75$$

lo cual sugiere que un aumento de un punto en la CI incrementa en promedio 0.53 puntos la eficiencia manufacturera. Esta relación fue respaldada por un coeficiente de determinación $R^2 = 0.72$, lo que indica que el 72 % de la variabilidad en la eficiencia puede explicarse por la capacidad innovadora. Además, se calculó un coeficiente de Pearson de $r \approx 0.85$, confirmando una fuerte correlación positiva entre ambas variables.

Estos hallazgos validan la hipótesis de que una mayor autonomía local para innovar incide positivamente en la eficiencia operativa. La rigidez impuesta por estructuras corporativas centralizadas limita la adaptabilidad, la mejora continua y la respuesta oportuna a los cambios del entorno. Por el contrario, las plantas con mayor CI mostraron indicadores superiores de eficiencia, menor variabilidad y mayor control de procesos clave.

Discusión

El presente estudio evidencia que la competitividad industrial de largo plazo en Chihuahua requiere una transformación profunda que trascienda el modelo maquilador tradicional. Los hallazgos empíricos muestran que la baja CI local está

estrechamente vinculada con modelos de gobernanza centralizados que limitan la autonomía de las plantas para implementar mejoras significativas en productos, procesos o tecnologías. Esta situación no solo restringe el potencial de mejora continua, sino que también compromete la agilidad operativa necesaria para competir en cadenas globales de valor cada vez más demandantes y digitalizadas.

El estudio confirma que el 60% de las plantas evaluadas tiene una CI por debajo de 30 puntos, centrándose en mejoras periféricas como aire comprimido o gestión de personal, y no en innovación estratégica. A su vez, la correlación positiva entre la CI y la EPM, con un R^2 de 0.72, subraya que la innovación no solo es deseable sino determinante para mejorar la productividad, reducir defectos y acortar R-U. Las plantas con mayor CI tienden a presentar mejores resultados en tiempos de ciclo, tasas de *scrap* y adaptabilidad productiva.

Al adoptar enfoques combinados como LM y metodologías ágiles, junto con marcos digitales de gestión logística y asociaciones binacionales en investigación y desarrollo, Chihuahua puede consolidarse como un nodo estratégico en manufactura de alto valor agregado, industrias intensivas en automatización y redes logísticas inteligentes. La integración fluida de tecnologías emergentes —como la IA, la analítica predictiva y los sistemas de producción habilitados por IoT— permitirá a los fabricantes locales mejorar la eficiencia operativa, reducir desperdicios y optimizar los flujos de comercio internacional, a la vez que mitigan riesgos derivados de aranceles, disrupciones logísticas y tensiones geopolíticas crecientes.

De maquiladoras a centros de innovación; el modelo tradicional de maquila, históricamente basado en procesos intensivos en mano de obra, baja inversión en investigación y desarrollo (I+D) y escaso valor agregado, ha comenzado a mostrar claros signos de agotamiento frente al encarecimiento de costos laborales, la fragilidad de las cadenas globales de suministro y el endurecimiento de políticas comerciales internacionales. Ante esta realidad, resulta ineludible avanzar hacia un modelo de manufactura orientado a la innovación, que requiera inversiones significativas en automatización de procesos, transformación digital profunda y colaboraciones industriales de alto nivel, tanto a escala nacional como internacional. Tal como anticiparon Womack (1990) y su equipo en su estudio sobre el impacto de Lean en la industria automotriz, esta transformación exige una reconfiguración completa del sistema productivo para generar valor y competitividad global.

Esta transición no solo representa una necesidad operativa, sino también una estrategia esencial para garantizar la resiliencia industrial del estado frente a escenarios de incertidumbre comercial prolongada, permitiendo además una integración más sólida a las cadenas globales de valor tecnológicamente avanzadas.

Elementos Clave de esta Transformación:

- **Manufactura *Lean* y *Agile*:** la integración de metodologías *Lean*, como el mapeo de la cadena de valor (*Value Stream Mapping*) y los sistemas *Kanban*, permite racionalizar los flujos de trabajo, eliminar ineficiencias y optimizar las operaciones, especialmente en entornos afectados por restricciones arancelarias. Por su parte, los principios de manufactura ágil aportan flexibilidad operativa, facilitando que las empresas respondan con rapidez y precisión a condiciones de mercado altamente cambiantes. Esta sinergia entre *Lean* y *Agile* es clave para sostener la competitividad en escenarios de volatilidad comercial.
- **DT para la Innovación de Productos:** para superar las limitaciones del modelo tradicional de ensamblaje, las empresas manufactureras de Chihuahua deben adoptar enfoques centrados en el usuario, que permiten desarrollar productos de alto valor agregado con diferenciadores competitivos sostenibles. Ballé et al. (2022) destaca que la integración entre digitalización y principios *Lean* impulsa una mayor agilidad en la innovación, reduciendo significativamente los ciclos de desarrollo y el tiempo de llegada al mercado. Este proceso se ve fortalecido por metodologías de iteración rápida como *Lean Startup*, que promueven la validación temprana con el cliente y el aprendizaje continuo en etapas iniciales del diseño (Ries, 2011). Asimismo, una gestión estructurada del desarrollo de productos basada en el enfoque *Lean Product Development* facilita la reducción de tiempos de innovación, mejora la eficiencia en la transferencia del diseño a manufactura y eleva la calidad final del producto, a decir de Mascitelli (2007). Estos enfoques integrados son esenciales para que la industria regional transite de actividades de bajo valor hacia un modelo orientado a soluciones tecnológicas avanzadas, y se complementa con el enfoque de Ward (2014), que enfatiza la coordinación entre diseño y manufactura.
- **Resiliencia en la Cadena de Suministro mediante Digitalización:** el fortalecimiento de la logística transfronteriza con el suroeste de Texas, a través de la integración digital, el uso de almacenes inteligentes y estrategias de nearshoring, contribuye a mitigar restricciones comerciales y garantizar una mayor continuidad operativa. Esta evolución logística también impulsa la consolidación de corredores comerciales sostenibles en la frontera norte, en línea con iniciativas internacionales que buscan armonizar la intersercción entre ecología, desarrollo y comercio (International Institute for Sustainable Development [IISD], 2014). Asimismo, la adopción de gemelos digitales (digital twins) y herramientas de analítica predictiva permite una visibilidad operacional en tiempo real, disminuye los tiempos de inactividad no planificados y optimiza el desempeño integral de las cadenas de suministro regionales.
- **Industria 4.0 y Tecnologías Avanzadas de Manufactura:** la adopción de soluciones vinculadas a la *Industria 4.0* —como la manufactura aditiva, la IA aplicada a sistemas de producción y la robótica colaborativa— constituye un pilar fundamental para la transformación industrial. Una vez identificados los factores críticos de éxito en su implementación, destaca su capacidad para potenciar la eficiencia operativa y acelerar la modernización tecnológica

(Sony y Naik, 2019; Pozzi et al., 2021). Estas tecnologías no solo incrementan la productividad y reducen costos, sino que también proporcionan a las organizaciones ventajas estratégicas para anticiparse a disrupciones estructurales, fortalecer su resiliencia y consolidar su sostenibilidad en mercados globales altamente competitivos (Bajic et al., 2020). Entre las aplicaciones emergentes destaca la soldadura inteligente asistida por visión por computadora y algoritmos de IA, los cuales permiten automatizar procesos complejos con mayor precisión y confiabilidad (Eren et al., 2023). A su vez, la integración de sistemas de *IA explicable* (explainable AI) facilita la interpretación de decisiones automatizadas, mejora la confianza del personal técnico y asegura el cumplimiento normativo en entornos de manufactura altamente regulados (Moosavi et al., 2024). Esta convergencia tecnológica representa una ventaja clave para las empresas de Chihuahua que buscan posicionarse en cadenas de valor intensivas en conocimiento, al combinarse con Lean, se refuerza el desempeño operacional (Tortorella et al., 2019).

- Formación de Talento en Tecnologías Avanzadas (Neumann et al., 2021) subraya que el éxito en la implementación de la Industria 4.0 depende en gran medida de la adaptabilidad de la fuerza laboral y de la existencia de programas formativos estructurados. Por ello, resulta esencial establecer alianzas entre universidades, centros de investigación y organismos industriales para asegurar que el talento local desarrolle competencias clave en automatización, IA, análisis de datos industriales y ciberseguridad. Esta preparación del capital humano es fundamental para cerrar brechas digitales y consolidar una manufactura avanzada de clase mundial en Chihuahua, alineadas con los lineamientos de Voehl et al. (2013) para procesos de mejora continua.

LM y eficiencia en un entorno comercial con restricciones:

Ante un escenario global caracterizado por restricciones comerciales, aranceles elevados y vulnerabilidades en las cadenas de suministro, la LM se reafirma como una estrategia esencial para fortalecer la eficiencia operativa, reducir desperdicios y mantener la competitividad industrial en regiones como Chihuahua. Inspirándose en los principios fundamentales de gestión en sitio formulados por Dillon (1989) y confirmados por Ohno (2009), *Lean* permite estructurar operaciones más ágiles, visuales y resilientes ante la volatilidad externa, alineados con una visión estratégica, ejemplo de esto es el sistema de producción de Toyota (“Akio Toyoda's View on Toyota Production System,” 2020).

Además, su integración con enfoques de manufactura circular contribuye directamente a la sostenibilidad operativa, alineándose con los postulados de Cudney (2023), quien destaca el potencial de *Lean* como vía hacia economías industriales más sostenibles. Como enfatizan Agustiady y Cudney (2023), *Lean* no debe verse solo como un conjunto de herramientas, sino como una filosofía de mejora continua que promueve la adaptabilidad organizacional, la toma de

decisiones basada en datos y la transformación sistémica orientada a la excelencia operativa y ambiental.

Uno de los pilares fundamentales de esta filosofía es la capacidad de adaptación dinámica frente a entornos volátiles, lo cual es especialmente relevante en el marco de políticas comerciales impredecibles como las derivadas del conflicto arancelario EE. UU.–China. En este contexto, los sistemas *Kanban* digitales se consolidan como mecanismos esenciales para gestionar flujos de trabajo ajustados a la demanda y responder con agilidad a los cambios regulatorios o logísticos transfronterizos.

Sistemas Kanban para Producción Adaptativa:

- Integración digital de *Kanban*: la implementación de tableros *Kanban* en la nube, integrados con sistemas ERP (planificación de recursos empresariales) y MES (sistema de ejecución de fabricación) —ambos por sus siglas en inglés—, permite una trazabilidad en tiempo real del trabajo en proceso, mejorando la visibilidad del piso de producción y facilitando la toma de decisiones operativas basadas en datos actualizados.
- Gestión inteligente de inventarios con IA: el uso de analítica predictiva, potenciado por IA, mejora la planificación de reabastecimiento de materiales, garantizando entregas *justo a tiempo* (JIT) —por sus siglas en inglés— de componentes críticos. Esto contribuye a reducir niveles de inventario innecesarios y a incrementar la rotación de materiales sin comprometer la continuidad productiva.
- Sincronización transfronteriza de la cadena de suministro: la aplicación de principios *Kanban* en los flujos logísticos entre Chihuahua y el suroeste de Texas permite reducir tiempos de cruce fronterizo, minimizar retrasos en aduanas y mitigar los impactos de políticas comerciales fluctuantes. Esta sincronización bidireccional, soportada por plataformas digitales, refuerza la resiliencia logística regional y facilita el cumplimiento normativo en escenarios de alta volatilidad regulatoria.

En conjunto, estas herramientas *Lean*, cuando se integran con tecnologías digitales y principios de *Industria 4.0*, posicionan a las empresas chihuahuenses para enfrentar con éxito los desafíos de un entorno comercial cada vez más restringido y competitivo. Además como Roser (2024) propone, el uso riguroso de estándares de trabajo refuerza la estabilidad operativa y acelera los ciclos de mejora continua.

Aprovechamiento de esquemas de manufactura con exención arancelaria

- Optimización del Programa “Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicio de Exportación” (IMMEX): el programa IMMEX permite la importación temporal de insumos sin pago inmediato de aranceles ni del IVA,

lo cual mejora significativamente la eficiencia de costos y otorga flexibilidad operativa. Para las empresas en Chihuahua, aprovechar al máximo los beneficios de este esquema representa una ventaja estratégica para mantener competitividad en entornos con alta presión arancelaria.

- Ampliación de preferencias arancelarias sectoriales del T-MEC: la identificación precisa de clasificaciones arancelarias sectoriales dentro del marco del Tratado entre México, EE. UU. y Canadá (T-MEC) permite reorganizar cadenas de suministro regionales, reduciendo la exposición a restricciones comerciales inesperadas y mejorando la planeación logística a mediano plazo.
- Uso de “Almacenes Fiscalizados y Zonas Francas” (FTZs): las zonas francas en el corredor Chihuahua-Texas ofrecen la posibilidad de postergar, reducir o incluso eliminar aranceles para mercancías estratégicas. Estas herramientas son especialmente valiosas para sectores de alto valor agregado como la industria automotriz, aeroespacial y de dispositivos médicos, al facilitar flujos transfronterizos más ágiles y financieramente eficientes.

Fortalecimiento de la Movilidad y Formación del Talento Industrial

El desarrollo de competencias en gestión del diseño y manufactura integradas, como en el modelo implementado a través del *Sistema Toyota de Desarrollo de Producto*, fortalece la CI organizacional (Morgan y Liker, 2006). Una fuerza laboral altamente calificada es un componente esencial para garantizar el crecimiento sostenido del sector manufacturero regional. Las iniciativas estratégicas en capacitación deben incluir:

- Programas binacionales de certificación técnica: la colaboración con institutos tecnológicos y centros de formación profesional en ambos lados de la frontera puede derivar en certificaciones estandarizadas en automatización de procesos robóticos (RPA), analítica de cadenas de suministro y metodologías Lean Six Sigma, alineadas con los requerimientos de la Industria 4.0.
- Pasantías y aprendizajes transfronterizos: el desarrollo de programas de intercambio entre empresas de El Paso y Ciudad Juárez facilitará la formación práctica de estudiantes y técnicos en contextos industriales binacionales, fortaleciendo la integración laboral en clústeres productivos regionales.
- Planeación del Talento Basada en IA: las plataformas digitales impulsadas por IA permiten detectar brechas de habilidades emergentes, identificar perfiles con alto potencial de desarrollo y diseñar programas formativos

personalizados para competencias clave en automatización, ciberfísica, análisis predictivo y mantenimiento inteligente.

Este enfoque integral no solo fortalece la capacidad de respuesta ante disrupciones en el mercado laboral, sino que también consolida una base de talento resiliente, adaptable y preparada para liderar la transformación digital del sector manufacturero en Chihuahua.

Recomendaciones de Política Pública e Implicaciones Industriales

Schwab (2016) identifica los principales vectores económicos y tecnológicos que moldean la competitividad industrial a nivel regional, resaltando la necesidad imperante de que Chihuahua transite hacia un modelo de manufactura avanzada con mayor densidad tecnológica y valor agregado. En un contexto internacional marcado por tensiones geopolíticas, disrupciones logísticas recurrentes y una acelerada adopción de tecnologías emergentes, las políticas públicas deben priorizar la creación de capacidades endógenas para la innovación, el fortalecimiento de clústeres industriales regionales y el desarrollo de infraestructura productiva resiliente.

Estas acciones deben estar alineadas con marcos internacionales como los establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) —ambas por sus siglas en inglés— en materia de ciencia, tecnología e innovación (OECD, 2024; UNESCO, 2023), promoviendo esquemas de colaboración universidad-industria, incentivos a la inversión tecnológica y programas de formación en competencias digitales avanzadas. Solo mediante una visión estratégica articulada entre actores públicos, privados y académicos será posible consolidar una base industrial capaz de responder con agilidad y sostenibilidad a los desafíos de la economía global.

Ajustes estratégicos ante el nuevo contexto geoeconómico internacional

El marco parcial de acuerdo comercial anunciado el 11 de junio de 2025 entre EE. UU. y China —que mantiene aranceles del 55 % sobre productos chinos y del 10 % sobre exportaciones estadounidenses, al tiempo que reanuda parcialmente la exportación de TR— impone la necesidad urgente de ajustar las estrategias regionales de desarrollo industrial. Para Chihuahua, este entorno híbrido de tensiones arancelarias y oportunidades emergentes exige nuevas capacidades institucionales y esquemas de apoyo a la manufactura.

Una medida prioritaria es el diseño de instrumentos fiscales diferenciales para empresas que sustituyan componentes de origen chino por alternativas regionales o locales. Estas herramientas podrían incluir deducciones aceleradas, créditos fiscales por sustitución tecnológica o subsidios a la certificación de

proveedores alternativos. Según Zhao, T. (2024), los mecanismos de sourcing inteligente y la complementariedad mercado-específica permiten optimizar decisiones de localización industrial y fortalecer la capacidad exportadora ante tensiones geoeconómicas.

Simultáneamente, se debe fomentar la creación de clusters industriales especializados en productos intensivos en minerales críticos, como baterías de estado sólido, sistemas de navegación aeroespacial o componentes para electromovilidad. La proximidad a insumos estratégicos, aun de forma indirecta, brinda una ventaja competitiva que debe ser aprovechada mediante infraestructura, alianzas académicas y atracción de inversión.

Finalmente, se propone establecer unidades estatales de vigilancia estratégica comercial, responsables de monitorear en tiempo real cambios en tarifas, reglas de origen y medidas compensatorias en los principales mercados. Estas unidades permitirán a las empresas anticiparse a disrupciones normativas, optimizar cadenas de suministro y redirigir inversiones con base en escenarios geoeconómicos actualizados.

Desarrollo de incentivos para inversiones en manufactura de alta tecnología

- Créditos fiscales para I+D y subvenciones a la innovación: la implementación de estímulos fiscales dirigidos a fábricas inteligentes, manufactura aditiva (impresión 3D) y tecnologías de gemelo digital puede acelerar significativamente la adopción tecnológica. Estos instrumentos deben estar alineados con los objetivos de la política industrial nacional y regional, promoviendo la reconversión productiva hacia sectores de mayor valor.
- Fondos de capital de riesgo público-privados: establecer fondos mixtos para financiar materiales avanzados, manufactura impulsada por IA y soluciones de energía limpia permitirá a Chihuahua atraer inversiones estratégicas y posicionarse como un centro de innovación industrial en el norte del país.
- Incentivos verdes para manufactura sostenible: diseñar esquemas fiscales vinculados al desempeño ambiental —como deducciones por implementación de modelos circulares, producción baja en carbono o uso de energías renovables— fomentará una transición industrial sostenible, acorde con estándares internacionales y compromisos ESG (Environmental, Social and Governance).

Fortalecimiento de Infraestructura para la Resiliencia de la Cadena de Suministro

- Ampliación del corredor logístico Juárez–Santa Teresa: invertir en infraestructura ferroviaria de alta velocidad, centros de distribución automatizados con IA y procesamiento inteligente de tráileres contribuirá a mejorar la eficiencia logística, reducir tiempos de tránsito y atraer flujos comerciales de alto valor desde el centro-sur de México y el sur de EE. UU.
- Desarrollo de cruces fronterizos inteligentes: implementar tecnologías como el despacho aduanal biométrico, escaneo automatizado de carga con IA y verificación documental mediante blockchain permitirá disminuir cuellos de botella fronterizos, acelerar los tiempos de liberación y aumentar la seguridad operativa en los flujos binacionales.
- Redes avanzadas de logística en cadena fría: la inversión en almacenes inteligentes con control térmico mediante IA potenciará la capacidad de Chihuahua para exportar productos biotecnológicos, farmacéuticos y perecederos, abriendo nuevas oportunidades en mercados de alta regulación como el de EE. UU., Europa y Asia-Pacífico.

Estas políticas coordinadas —combinando incentivos fiscales, financiamiento tecnológico y modernización logística— posicionarán a Chihuahua como un referente continental en manufactura inteligente, resiliente y sustentable.

Conclusiones

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), a través de la Cumbre Mundial de Fabricación e Industrialización (GMIS), —ambas por sus siglas en inglés— subraya la tendencia creciente hacia redes de producción regionalizadas y la adopción acelerada de prácticas manufactureras sostenibles impulsadas por tecnologías avanzadas, especialmente relevantes para economías emergentes como México (UNIDO, 2016). En este contexto de transformación estructural, la industria manufacturera de Chihuahua se encuentra en un punto de inflexión estratégico, en el que los desafíos económicos, la evolución de las políticas comerciales y los avances tecnológicos redefinen su papel dentro de las cadenas de suministro de América del Norte.

Si bien los aranceles y restricciones comerciales representan barreras significativas, también generan un imperativo de reconversión industrial y adaptación estratégica. Transitar de un modelo maquilador centrado en la ventaja de costos hacia un ecosistema manufacturero basado en la innovación permitirá a Chihuahua desbloquear nuevas rutas de competitividad, resiliencia operativa y generación de valor agregado. En el núcleo de esta transición se encuentra la integración de metodologías de LM, enfoques de DT, marcos logísticos inteligentes y asociaciones binacionales, todo ello con el objetivo de posicionar a la región como un nodo clave en la producción de alta tecnología y la innovación industrial avanzada.

Un pilar esencial de esta transformación es la adopción plena de la Industria 4.0, que está redefiniendo los paradigmas de manufactura global. Bajic et al. (2020), en *Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities*, destaca que la incorporación de tecnologías de manufactura inteligente mejora significativamente la agilidad, la eficiencia de costos y la capacidad de respuesta ante entornos geopolíticos inciertos. Por su parte, Hossain (2024), en su tesis, argumenta que la sinergia entre Lean y la digitalización facilita la creación de sistemas de producción autónomos e inteligentes, optimizando la eficiencia operativa, la adaptabilidad y la toma de decisiones en tiempo real.

El uso de tecnologías como mantenimiento predictivo basado en IA, gemelos digitales y plataformas de cumplimiento comercial habilitadas por *blockchain* será fundamental para fortalecer la infraestructura industrial de Chihuahua y garantizar su alineación con estándares globales. Esto se alinea con los hallazgos de Zhao et al. (2022), quienes vinculan la implementación de sistemas de gestión de calidad con el logro de objetivos de sostenibilidad e innovación ambiental.

En paralelo, Schwab (2016), identifica los factores económicos y tecnológicos que configuran el liderazgo industrial a nivel regional, reafirmando la necesidad de que Chihuahua adopte un enfoque orientado a la I+D como vía para sostener su posición en las redes de comercio de alto valor de América del Norte. Para ello, la formación de clusters industriales especializados y la consolidación de colaboraciones binacionales resultan estratégicas.

Xu Guangping et al. (2024), revelan el rol estratégico de las alianzas regionales en el impulso del desarrollo tecnológico, la formación de talento especializado y la sostenibilidad industrial. Para que Chihuahua acceda a segmentos más complejos y rentables de las cadenas globales de valor —como dispositivos médicos, automotriz, aeroespacial y semiconductores— resulta clave expandir programas binacionales de I+D, fortalecer vínculos universidad-industria y crear hubs tecnológicos sectoriales.

Simultáneamente, la modernización logística y la actualización de las políticas de facilitación comercial son factores esenciales. La expansión de puertos secos, la adopción de sistemas aduanales inteligentes basados en IA y el fortalecimiento de redes multimodales de transporte permitirán a la región consolidarse como nodo logístico estratégico. Estas acciones optimizarán costos, aumentarán la eficiencia operativa y elevarán la resiliencia frente a disrupciones globales, especialmente bajo esquemas de nearshoring.

La conexión eficiente entre Chihuahua y el suroeste de Texas facilitará la integración a cadenas de valor regionales, mediante flujos logísticos trazables y sin fricciones. Esta visión coincide con propuestas sobre el papel de la IA para el desarrollo sostenible destacando la tecnología como base de competitividad y resiliencia (Gurría, 2019).

En suma, el posicionamiento industrial de Chihuahua a largo plazo dependerá de su capacidad para integrar tecnologías avanzadas, formar capital humano

calificado y construir ecosistemas colaborativos de alto valor. Mediante la alineación de normativas, estrategias de digitalización y cooperación transfronteriza, la región puede consolidarse como referente internacional en manufactura avanzada y sostenible dentro de América del Norte.

El texto suma evidencia empírica y análisis estratégico sobre la transición del modelo tradicional de maquiladora hacia un ecosistema de manufactura avanzada, particularmente en el estado de Chihuahua, integrando variables clave como la autonomía local en la innovación, la eficiencia operativa y la incorporación de tecnologías emergentes. Es así que a través de la metodología citada, se construyó un marco analítico que permitió vincular el bajo nivel de CI en las plantas con la centralización de decisiones y su efecto directo en la eficiencia manufacturera. Se reveló igualmente que una mayor autonomía para implementar mejoras tecnológicas se traduce en mejores indicadores de productividad, calidad y tiempo de respuesta al mercado.

A nivel teórico, se contribuye al campo de los estudios sobre transformación industrial en economías emergentes, al ofrecer un modelo replicable que articula LM, *Industria 4.0* y prácticas sostenibles dentro de entornos altamente regulados y dependientes de corporativos internacionales. Además, proporciona una lectura crítica del fenómeno del *nearshoring* desde una perspectiva regional, subrayando cómo la articulación de capacidades locales y redes binacionales puede reconfigurar la inserción competitiva de las maquiladoras mexicanas en las cadenas globales de valor.

El estudio ofrece así mismo lineamientos estratégicos para la formulación de políticas públicas e iniciativas industriales orientadas a descentralizar la toma de decisiones, fortalecer el capital humano y promover ecosistemas colaborativos de innovación, al tiempo que proporciona herramientas útiles para empresas, cámaras industriales y gobiernos estatales que buscan transformar sus capacidades manufactureras frente a los nuevos retos geopolíticos y tecnológicos.

Finalmente, en este trabajo se revela a Chihuahua como un caso emblemático para analizar cómo las regiones tradicionalmente manufactureras pueden evolucionar hacia plataformas de alto valor agregado mediante la integración estratégica de talento, tecnología y gobernanza industrial inteligente.

Referencias

- Agustiady, T., y Cudney, E. A. (2022). *Building a sustainable Lean culture: An implementation guide*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429184123>
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., y Piuri, V. (2020). Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A managerial perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546-559. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3023041>

- Ballé, M., Chartier, N., Paoli, G. y Medina, R. (2022). *Raise the Bar: Zero to 1 Billion: Combining Lean and Digital for People-Centric, Sustainable Growth*. Keenly press.
- Cudney, E. A., Furterer, S. L., Laux, C. M., y Hundal, G. S. (2023). *Lean sustainability: A pathway to a circular economy*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429506192>
- Dillon, A. (Ed.). (1989). *A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315136509>
- Downie, A. (2024). *¿Qué es el design thinking?* IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/design-thinking>
- Eren, B., Demir, M.H. y Mistikoglu, S. (2023). Recent developments in computer vision and artificial intelligence aided intelligent robotic welding applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 126, 4763–4809. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11456-4>
- Ferreira, L. P., Ávila, P., Bastos, J., Silva, F.J.G., Sá, J.C. y Brito, M. (Eds.). (2023). *Lean Manufacturing and Industry 4.0*. Mdpi AG. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-7716-6>
- Gámez-Garza, F., Barrera, M., Ibarra Córdova, J. R., Rubio Barnette, L., Hernández, C. Y., Iturbide, A., Mandujano, C., Rosas Ortiz, M.A., Salinas, M., Laris, M. y Aguilar, J. (2023). Nearshoring: U.S.-Mexico announce new tax incentives. *Holland y Knight*. <https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2023/10/nearshoring-us-mexico-announce-new-tax-incentives>
- García, M. (2023). *Lean manufacturing: qué es y sus principales herramientas*. *Tecnológico de Monterrey*. <https://blog.maestriasydiplomados.tec.mx/lean-manufacturing-que-es-y-sus-principales-herramientas>
- Gurría, A. (2019, 09 9). *AI for Sustainable Development – In Conversation with Ángel Gurría, OECD Secretary-General*. Wheeler Institute for Business and Development. <https://wheelerblog.london.edu/ai-for-sustainable-development-in-conversation-with-angel-gurria-oecd-secretary-general/>
- Heraud, J., Medini, K. y Andersen, A.L. (2023). Managing agile R-U projects in manufacturing – Status quo and recommendations. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 45, 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.06.002>
- Hossain, M. (2024). *Integration of lean and industry 4.0 for smart manufacturing*. [Tesis de doctorado, Auburn University] Electronic Theses and Dissertations. <https://etd.auburn.edu/browse?type=authorvalue=Hossain%2C+Md+Monir>
- Index Chihuahua. (2025). *Directorio de socios Index Chihuahua*. <https://indexchihuahua.org.mx/directorio-de-socios-index-chihuahua/>

- INEGI. (2024). *Exportaciones trimestrales por entidad federativa*. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.inegi.org.mx%2Fcontenidos%2Fsaladeprensa%2Fboletines%2F2024%2Fetef%2Fetef2024_12.docx&wdOrigin=BROWSELINK
- International Institute for Sustainable Development y United Nations Environment Programme. (2014). *Trade and Green Economy: A Handbook*. <https://www.iisd.org/system/files/publications/trade-green-economy-handbook-third-edition-en.pdf>
- Kurtenbach, E. y Weissert, W. (2025). *Deal with Beijing will speed China's export of minerals to the US, treasury secretary says*. The Associated Press. <https://www.barchart.com/story/news/33082363/deal-with-beijing-will-speed-china-s-export-of-minerals-to-the-us-treasury-secretary-says>
- Lawless, J. (2025). US-China trade talks resume for second day in London. *The Associated Press*. <https://www.bnnbloomberg.ca/business/international/2025/06/10/us-china-trade-talks-in-london-enter-their-second-day/>
- Mascitelli, R. (2007). *The Lean Product Development Guidebook: Everything Your Design Team Needs to Improve Efficiency and Slash Time-to-Market*. Technology perspectives.
- Moosavi, S., Farajzadeh-Zanjani, M., Razavi-Far, R., Palade, V., y Saif, M. (2024). Explainable AI in Manufacturing and Industrial Cyber-Physical Systems: A Survey. *Electronics*, 13(17), 3497. <https://doi.org/10.3390/electronics13173497>
- Morales, R. (2023). México se consolida como primer socio comercial de Estados Unidos. *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-se-consolida-como-primer-socio-comercial-de-Estados-Unidos-20231107-0060.html>
- Morgan, J., y Liker, J. (2006). *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology*. CRC Press Taylor y Francis Group. <http://dx.doi.org/10.4324/9781482293746>
- Neumann, W. P., Winkelhaus, S., Grosse, E. H., y Glock, C. H. (2021). Industry 4.0 and the human factor—a systems framework and analysis methodology for successful development. *International journal of production economics*, 233, 107992. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107992>
- OECD. (2024). Western Balkans Competitiveness Outlook 2024: Kosovo, Competitiveness and Private Sector Development. *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/61eada02-en>
- Ohno, T. (2009). *Taiichi Ohno's Workplace Management*. Gemba Press.
- Pozzi, R., Rossi, T., y Secchi, R. (2021). Industry 4.0 technologies: critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies.

- Production Planning y Control*, 34(2), 139–158.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1891481>
- Raza, M. (2025). How Tariffs Are Reshaping Global Supply Chains in 2025. *Supply Chain Brain*. <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/41852-how-tariffs-are-reshaping-global-supply-chains-in-2025>
- Ries, E. (2011). *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation To Create Radically Successful Businesses*. Currency.
- Roser, C. (2024). *All About Work Standards: Creating, Implementing, Maintaining, and Improving Work Standards, Toyota Standard Work, and Leader Standard Work for Continuous Improvement*. AllAboutLean.com Publishing. <https://www.allaboutlean.com/all-about-work-standards/>
- Rother, M. y Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute. <https://welib.org/md5/52c44fcf8ff0eb8937c209a97fadbaca>
- Schwab, K. (2016). *The Global Competitiveness Report 2016–2017*. World Economic Forum. https://www.google.com/url?client=internal-element-cseycx=005374784487575532108:zwr8u4lxobayq=https://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdfysa=Uyved=2ahUKEwjuytHtpsSOAxXMmSYFHWrMLnwQFnoECAkQAQyusg=AOvVawoszMpJ9M2NjgHopf-MMg3Syfexp=72986053.72986052
- Sony, M., y Naik, S. (2019). Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. *Production Planning y Control*, 31(10), 799–815. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1691278>
- Sy Corvo, H. (2023). *Tamaños de empresas*. Lifeder. 2025, de <https://www.lifeder.com/tamanos-de-empresas/>
- Tortorella, G.L., Giglio, R. y van Dun, D.H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations y Production Management*, 39(6/7/8), 860–886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
- Toyoda, A. (2020). *Akio Toyoda's View on Toyota Production System*. Toyota Times. <https://toyotatimes.jp/en/spotlights/091.html>
- U.S. Census Bureau. (2025). *U.S. Trade in Goods by Country*. <https://www.census.gov/foreign-trade/balance/>
- UNESCO. (2023). *Futures literacy laboratory playbook: an essentials guide for co-designing a lab to explore how and why we anticipate*. <https://doi.org/10.54678/KSWO4445>
- UNIDO. (2016). *Industry 4.0 opportunities and challenges of the new industrial revolution of developing countries and economies in transition*. Department

- of Trade, Investment and Innovation.
https://www.unido.org/sites/default/files/2017-01/Unido_industry-4_NEW_o.pdf
- Voehl, F., Harrington, H., Mignosa, C., y Charron, R. (2013). *The lean six sigma black belt handbook: Tools and methods for process acceleration*. CRC Press Taylor y Francis Group.
https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781466554696_A24034653/preview-9781466554696_A24034653.pdf
- Ward, A. C. (2014). *Lean Product and Process Development*. Lean Enterprises Inst Inc.
- Womack, J. P. (1990). *The Machine That Changed the World: Based on the Massachusetts Institute of Technology 5-Million-Dollar 5-Year Study on the Future of the Automobile*. Rawson Associates.
<https://archive.org/details/machinethatchangoowoma/page/n5/mode/2up>
- Xu, G., Zhang, J., y Wang, S. (2024). How digitalization and sustainability promote digital green innovation for Industry 5.0 through capability reconfiguration: Strategically oriented insights. *Systems*, 12(9), 341.
<https://doi.org/10.3390/systems12090341>
- Xu, H., y Wang, J. (2024). Digital Economy, Regional Cooperative Innovation and Green Innovation Efficiency: Game Model and Empirical Evidence Based on Regions in China. *Sustainability*, 16(12), 5161.
<https://doi.org/10.3390/su16125161>
- Zhao, L., Gu, J., Abbas, J., Kirikkaleli, D., y Yue, X. G. (2022). Does quality management system help organizations in achieving environmental innovation and sustainability goals? A structural analysis. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 2484–2507.
<https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2100436>
- Zhao, T. (2024). *Essays on import sourcing, market-specific complementarity, and patent trade*. [Tesis de doctorado, Hong Kong University of Science and Technology]. HKUST Electronic Theses.
<https://lbezone.hkust.edu.hk/rse/?p=64107>

2025 PHRŌNESIS DELIBERACIÓN-DIRECCIÓN-PRÁXIS

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>