



Análisis de enfoques Lean Manufacturing en procesos productivos industriales para la mejora de la eficiencia operativa

Analysis of Lean Manufacturing approaches in industrial production processes to improve operational efficiency

Análise de abordagens de Lean Manufacturing em processos de produção industrial para melhorar a eficiência operacional

Byron Daniel Erazo Rodríguez ^I
erazodaniel97@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-3339-9017>

Jilson Steven Vistin Tapia ^{II}
jilsonv_98@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0909-0520>

Roger Gómez Mamani ^{III}
r.gomez@unaj.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-1747-1947>

Marjorie Tatiana Ramos Quintero ^{IV}
marjorieramosquintero@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9778-5830>

Carlos Pedro Saavedra López ^V
carlospedro.saavedra@unmsm.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-8242-5664>

Correspondencia: erazodaniel97@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*** Recibido:** 26 de agosto de 2025 *** Aceptado:** 24 de septiembre de 2025 *** Publicado:** 14 de octubre de 2025

- I. Ingeniero Mecánico, Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Ecuador.
- II. Ingeniero Industrial, Ecuador.
- III. Magíster Scientiae en Poscosecha y Marketing, Universidad Nacional de Juliaca, Perú.
- IV. Ingeniera industrial, Ecuador.
- V. Maestría en Banca y Finanzas, Filial Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Resumen

Esta revisión sistemática sintetiza la evidencia reciente sobre los enfoques de Lean Manufacturing aplicados a procesos productivos industriales y su efecto en la eficiencia operativa. Se siguió la guía PRISMA 2020, con búsquedas en bases indexadas y criterios explícitos de inclusión/exclusión, resultando en 25 estudios elegibles. La evidencia muestra que los bundles de prácticas Lean con herramientas como el JIT, TQM, TPM, Kanban, VSM, SMED, Kaizen, se asocian de forma consistente con mejoras en indicadores como OEE, lead time, tasa de defectos, productividad y confiabilidad operativa. Los mapas de cadena de valor VSM, orientan reducciones de desperdicio y tiempos de ciclo; SMED repercute en cambios rápidos y aumento de capacidad; TPM y autonomation jidoka, refuerzan la estabilidad de equipos; y la integración Lean digitalización, que comprende I4.0 conjuntamente con Lean 4.0, potencia la visibilidad del flujo y el control estadístico en tiempo real. Asimismo, se identifican factores críticos de éxito, como el liderazgo, formación, priorización de proyectos y cultura, así como barreras de resistencia al cambio, sostenibilidad en el tiempo, alineamiento con métricas del negocio. Para contextos latinoamericanos, incluida la manufactura ecuatoriana, los hallazgos sugieren una adopción gradual: diagnóstico con VSM, pilotos SMED y TPM en cuellos de botella, estandarización y posterior acople con analítica e IoT. Esta ruta equilibra impacto temprano y madurez organizacional, habilitando mejoras sostenibles en eficiencia y resiliencia de la cadena. Evidencia clave sustentada en la literatura sobre bundles Lean y su relación con desempeño operativo y/o ambiental, sobre la complementariedad Lean digitalización.

Palabras Clave: Lean Manufacturing; eficiencia operativa; VSM/SMED/TPM; OEE y lead time; Industria 4.0 (Lean 4.0).

Abstract

This systematic review synthesizes recent evidence on Lean Manufacturing approaches applied to industrial production processes and their impact on operational efficiency. The PRISMA 2020 guidelines were followed, with indexed database searches and explicit inclusion/exclusion criteria, resulting in 25 eligible studies. The evidence shows that bundles of Lean practices with tools such as JIT, TQM, TPM, Kanban, VSM, SMED, and Kaizen are consistently associated with improvements in indicators such as OEE, lead time, defect rate, productivity, and operational reliability. VSM value stream maps guide waste and cycle time reductions; SMED impacts rapid

changeovers and capacity increases; TPM and autonomation jidoka reinforce team stability; and Lean digitalization integration, which includes I4.0 in conjunction with Lean 4.0, enhances flow visibility and real-time statistical control. Likewise, critical success factors are identified, such as leadership, training, project prioritization and culture, as well as barriers to change, sustainability over time, and alignment with business metrics. For Latin American contexts, including Ecuadorian manufacturing, the findings suggest a gradual adoption: diagnosis with VSM, SMED and TPM pilots at bottlenecks, standardization, and subsequent coupling with analytics and IoT. This path balances early impact and organizational maturity, enabling sustainable improvements in efficiency and resilience of the supply chain. Key evidence supported by the literature on Lean bundles and their relationship with operational and/or environmental performance, on the complementarity of Lean and digitalization.

Keywords: Lean Manufacturing; operational efficiency; VSM/SMED/TPM; OEE and lead time; Industry 4.0 (Lean 4.0).

Resumo

Esta revisão sistemática sintetiza evidências recentes sobre as abordagens de Lean Manufacturing aplicadas aos processos de produção industrial e o seu impacto na eficiência operacional. Foram seguidas as diretrizes PRISMA 2020, com pesquisas em bases de dados indexadas e critérios explícitos de inclusão/exclusão, resultando em 25 estudos elegíveis. As evidências mostram que os conjuntos de práticas Lean com ferramentas como JIT, TQM, TPM, Kanban, VSM, SMED e Kaizen estão consistentemente associados a melhorias em indicadores como OEE, lead time, taxa de defeitos, produtividade e fiabilidade operacional. Os mapas de fluxo de valor VSM orientam as reduções de desperdício e de tempo de ciclo; O SMED impacta trocas rápidas e aumentos de capacidade; A TPM e a autonomia jidoka reforçam a estabilidade da equipa; e a integração da digitalização Lean, que inclui o I4.0 em conjunto com o Lean 4.0, melhora a visibilidade do fluxo e o controlo estatístico em tempo real. Da mesma forma, são identificados fatores críticos de sucesso, como a liderança, a formação, a priorização e a cultura de projetos, bem como as barreiras à mudança, a sustentabilidade ao longo do tempo e o alinhamento com as métricas de negócio. Para os contextos latino-americanos, incluindo a indústria equatoriana, os resultados sugerem uma adoção gradual: diagnóstico com pilotos de VSM, SMED e TPM em estrangulamentos, padronização e subsequente acoplamento com analítica e IoT. Este caminho equilibra o impacto

inicial e a maturidade organizacional, permitindo melhorias sustentáveis na eficiência e resiliência da cadeia de abastecimento. Evidências importantes são corroboradas pela literatura sobre os pacotes Lean e a sua relação com o desempenho operacional e/ou ambiental, e pela complementaridade do Lean e da digitalização.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta; eficiência operacional; VSM/SMED/TPM; OEE e lead time; Indústria 4.0 (Lean 4.0).

Introducción

En las últimas tres décadas, Lean Manufacturing se ha consolidado como uno de los enfoques de mejora más influyentes para aumentar la eficiencia operativa en entornos manufactureros, al reducir desperdicios, variabilidad y tiempos de ciclo, y alinear los procesos con el valor percibido por el cliente. La literatura identifica a Lean como un sistema socio-técnico cuyo desempeño depende de la implementación conjunta de paquetes de prácticas (bundles) por ejemplo, just-in-time (JIT), total productive maintenance (TPM), value stream mapping (VSM), single-minute exchange of dies (SMED), kanban, jidoka, estandarización y mejora continua (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Bellisario & Pavlov, 2018). Estos bundles actúan sobre cuellos de botella, tiempos de preparación, disponibilidad de equipos, calidad en la fuente y flujo, generando impactos medibles en OEE, lead time, tasa de defectos, productividad y confiabilidad operativa (Belekoukias et al., 2014; Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017).

La teoría de operaciones que respalda Lean enfatiza tres mecanismos: (i) flujo en cuanto a la reducción de lotes, balanceo de líneas y sincronización pull, lo cual conlleva a disminuir inventarios y tiempos de espera; (ii) calidad en la fuente, con herramientas como jidoka, poka-yoke, estandarización, para reducir variabilidad y retrabajos; y (iii) mantenimiento productivo TPM y confiabilidad, para estabilizar la capacidad efectiva y mitigar pérdidas por paradas (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Abu et al., 2022). En este sentido, VSM se usa como herramienta de diagnóstico sistémico para visualizar el flujo de valor, cuantificar desperdicios y priorizar intervenciones; mientras SMED habilita cambios rápidos que liberan capacidad, acortan ciclos y mejoran la flexibilidad (Salwin et al., 2023; García-García et al., 2022). Evidencias empíricas y revisiones sistemáticas han documentado incrementos de productividad, disminuciones del tiempo de ciclo y mejoras de OEE tras la adopción disciplinada de estas prácticas (Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh et al., 2019; Panigrahi et al., 2023).

No obstante, el éxito de Lean no es automático y depende de factores críticos como liderazgo comprometido, capacidades de la fuerza laboral, selección y priorización de proyectos, y una cultura de mejora sostenida (Abu et al., 2022; Systems Editorial Team, 2024). De hecho, las causas de fracaso más frecuentes incluyen la implementación fragmentada (foco en “herramientas sueltas”), la resistencia al cambio y la pérdida de tracción tras los primeros logros (Maware et al., 2022). En la última década, la conversación se ha ampliado hacia la sostenibilidad, es decir la integración Lean & Green y evaluación de impactos ambientales y hacia la digitalización Lean 4.0, donde tecnologías de Industria 4.0, se combinan con rutinas Lean para reforzar visibilidad, control estadístico y toma de decisiones en tiempo casi real (Garza-Reyes et al., 2018; Buer et al., 2021; Maware & Adedeji, 2023; Elemure et al., 2023; Foley et al., 2022). La evidencia emergente sugiere complementariedad: las tecnologías digitales amplifican los efectos de Lean en desempeño operativo cuando se despliegan sobre procesos previamente estabilizados y estandarizados, mientras Lean guía dónde digitalizar con mayor retorno (Buer et al., 2021; Komkowski et al., 2025).

Este debate es especialmente pertinente para América Latina y, en particular, para empresas manufactureras de Ecuador, donde muchas organizaciones transitan desde sistemas tradicionales a modelos de excelencia operacional. En contextos con restricciones de capital y capacidades heterogéneas, las estrategias graduales, como el diagnóstico con VSM, pilotos de SMED, TPM en procesos cuello de botella, estandarización, y luego integración con analítica y IoT, permiten “quick wins”; aprendizaje organizacional sin comprometer la sostenibilidad del cambio (Huang et al., 2022; Rodrigues et al., 2022; Schwantz et al., 2023). En sectores como alimentos, metalmecánica o textil, estudios de caso reportan reducciones de defectos, mejoras en OEE y recuperación de capacidad a partir de rutinas Lean bien orquestadas (García-García et al., 2022; Salwin et al., 2023; Syafwandi et al., 2020).

Metodológicamente, la literatura ha evolucionado desde estudios de caso y encuestas transversales orientadas a asociar prácticas y desempeño hacia revisiones sistemáticas y meta-síntesis que consolidan efectos y condiciones de contorno (Bhamu & Sangwan, 2014; Bellisario & Pavlov, 2018; Systems Editorial Team, 2024; Maware & Adedeji, 2023). Persisten, sin embargo, brechas relevantes: (a) mediciones estandarizadas y comparables de resultados (p. ej., reportes consistentes de OEE, lead time y defectos); (b) evidencia longitudinal sobre sostenibilidad de los beneficios; (c) marcos para priorizar portafolios Lean en función de restricciones reales (personas, tecnología,

cadena de suministro); y (d) guías para la integración Lean–I4.0 basadas en madurez digital y use cases de alto impacto (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Komkowski et al., 2025). De manera complementaria, se requiere clarificar condiciones contextuales, tales como el tamaño de empresa, complejidad del mix de productos, variabilidad de la demanda, regulación sectorial, la cuales modulan la magnitud de las mejoras (Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017; Iranmanesh et al., 2019; Panigrahi et al., 2023).

Con base en estas consideraciones, el propósito de esta revisión sistemática es sintetizar y evaluar críticamente la evidencia reciente sobre enfoques Lean en procesos productivos industriales y su contribución a la eficiencia operativa, atendiendo tres preguntas guía: (1) ¿Qué bundles y herramientas Lean muestran mayor consistencia de impacto en métricas operativas (OEE, lead time, defectos, productividad)? (2) ¿Bajo qué condiciones organizacionales y factores críticos se sostienen dichos impactos en el tiempo? (3) ¿Qué sinergias surgen al integrar Lean con Industria 4.0 y/o con iniciativas de sostenibilidad? Para responderlas, seguimos la guía PRISMA 2020, definimos criterios de inclusión/exclusión, ejecutamos una búsqueda reproducible y aplicamos filtros de calidad metodológica, obteniendo 25 estudios elegibles que constituyen la base del análisis (Page et al., 2021; Liberati et al., 2009; Moher et al., 2009).

El aporte de este trabajo es triple. Primero, ofrecer una cartografía de prácticas y mecanismos de impacto que facilite la selección de intervenciones según objetivos y restricciones. Segundo, identificar factores críticos y barreras que condicionan la captura de valor, desde liderazgo y formación hasta la alineación con métricas de negocio, incluyendo lecciones sobre sostenibilidad del cambio (Abu et al., 2022; Maware et al., 2022; Systems Editorial Team, 2024). Tercero, proponer un marco integrador para la transición Lean-Digital (Lean 4.0) que ordene casos de uso (monitoreo de condiciones, real-time OEE, trazabilidad, analítica de cuellos de botella) en función de la madurez del sistema productivo (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Maware & Adedeji, 2023; Komkowski et al., 2025). Este enfoque busca ser útil para organizaciones regionales, que aspiren a mejorar su desempeño operativo con decisiones evidenciadas y contextualizadas.

El artículo se estructura de la siguiente forma. La Metodología detalla el protocolo PRISMA, iniciando con las bases de datos, strings, periodo, criterios PEO/PICO, filtros de calidad y extracción de datos. Los Resultados presentan la caracterización del corpus, obteniendo una distribución temporal y sectorial, la frecuencia de herramientas Lean y un compendio de efectos reportados en OEE, lead time y defectos. La Discusión integra hallazgos, delimita condiciones de

validez y sugiere una hoja de ruta por madurez para la implementación Lean y su acople con I4.0; también se abordan limitaciones y líneas futuras. Las Conclusiones sintetizan implicaciones prácticas y académicas. Como apoyo visual, se incluye la ilustración 1, la cual es un diagrama PRISMA para transparentar el proceso de selección (Moher et al., 2009; Liberati et al., 2009).

Metodología

Este estudio se diseñó como una revisión sistemática orientada a sintetizar la evidencia sobre enfoques de Lean Manufacturing en procesos productivos industriales y su impacto en la eficiencia operativa, cumpliendo con las directrices de reporte PRISMA 2020 para garantizar transparencia, reproducibilidad y trazabilidad del flujo de selección. El protocolo que especificó preguntas de investigación, criterios de elegibilidad, plan de búsqueda, procedimientos de extracción y evaluación crítica, fue formulado a priori y se apoyó en la declaración y ampliación explicativa de PRISMA, así como en la declaración original, a fin de asegurar consistencia metodológica; no se registró en PROSPERO por tratarse de una temática de ingeniería y operaciones, sin componente clínico, pero el protocolo queda disponible para auditoría académica bajo solicitud (Page et al., 2021; Liberati et al., 2009; Moher et al., 2009). El foco sustantivo de la revisión fueron los bundles y herramientas Lean más aceptados en la literatura (JIT, TPM, VSM, SMED, kanban, jidoka, estandarización y mejora continua), incluidas sus integraciones con Lean Six Sigma, Lean-Green e Industria 4.0/Lean 4.0, dado el peso teórico y empírico acumulado en torno a la noción de paquetes de prácticas y su asociación con el desempeño operativo en manufactura (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Bellisario & Pavlov, 2018; Iranmanesh et al., 2019; Garza-Reyes et al., 2018; Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Maware & Adedeji, 2023; Elemure et al., 2023). Para delimitar el alcance analítico se adoptó un marco PEO: población/contexto constituida por organizaciones manufactureras y procesos industriales de diversos sectores y tamaños; exposición/intervención basada en enfoques Lean y sus bundles, incluyendo variantes Lean Six Sigma, Lean-Green y la convergencia con tecnologías de digitalización; y resultados de interés definidos como indicadores de eficiencia operativa, como son OEE, lead time, tasa de defectos, productividad, utilización y confiabilidad, admitiendo reportes complementarios de desempeño ambiental y organizacional cuando formaron parte del diseño de los estudios (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh et al., 2019; Garza-Reyes et al., 2018; Syafwandi et al., 2020; Buer et al., 2021; Salwin et al., 2023; García-García et al., 2022; Elemure et al., 2023; Foley et al.,

2022; Panigrahi et al., 2023; Systems Editorial Team, 2024). Este marco permitió dialogar con la teoría de paquetes de prácticas y con la evidencia que asocia herramientas concretas como VSM y SMED con reducciones de desperdicio, tiempos de ciclo y tiempos de cambio, y con programas TPM y jidoka para estabilizar equipos y procesos, todo ello con impactos esperados en las métricas operativas seleccionadas (Belekoukias et al., 2014; Garza-Reyes et al., 2018; Syafwandi et al., 2020; García-García et al., 2022; Salwin et al., 2023).

La búsqueda bibliográfica se ejecutó en bases indexadas y multidisciplinarias con alta cobertura de ingeniería y gestión de operaciones, específicamente Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Elsevier, SpringerLink, Taylor & Francis, Emerald, Wiley e IEEE Xplore, para trabajos que vinculan Lean e Industria 4.0; complementándolas con portales editoriales de acceso abierto tipo MDPI, por su densidad reciente de publicaciones en Sustainability, Machines, Energies, Systems y Logistics y con repositorios regionales como SciELO y Redalyc para capturar evidencia latinoamericana. Google Scholar se utilizó de forma acotada, únicamente para recuperar DOIs o versiones ahead of print cuando el artículo ya contaba con publicación definitiva, evitando sesgos de “bola de nieve”. La ventana temporal cubrió 2003–2025, tomando 2003 como punto de partida por el trabajo seminal sobre bundles Lean y su relación con el desempeño (Shah & Ward, 2003), e incluyendo artículos recientes y en línea adelantada cuando contaban con DOI y estatus de revisión por pares. Las cadenas de búsqueda combinaron términos controlados y libres en inglés, español y portugués, ajustados a cada base y aplicados en título, resumen y palabras clave. Se utilizaron expresiones como: “lean manufacturing” OR “lean production” AND (OEE OR “overall equipment effectiveness” OR “lead time” OR “defect rate” OR productivity) AND (VSM OR “value stream mapping” OR SMED OR TPM OR JIT OR kanban OR jidoka); así como “lean manufacturing” AND (“industry 4.0” OR digitalization OR “lean 4.0”) AND (efficiency OR performance). En español y portugués se emplearon equivalentes como “manufactura esbelta”, “produção enxuta” combinados con “eficiencia, eficiência”, “productividad” y nombres de herramientas (VSM, SMED, TPM, JIT, kanban), aplicando filtros por año, idioma, área temática (ingeniería y operaciones) y tipo de documento (artículos revisados por pares con DOI) (Systems Editorial Team, 2024).

Los criterios de inclusión exigieron que los estudios fueran empíricos, es decir casos de estudio, encuestas, cuasi-experimentos o revisiones sistemáticas directamente relacionadas con enfoques Lean y resultados operativos; que presentaran aplicación clara de herramientas o bundles como

VSM, SMED, TPM, JIT, kanban, jidoka, estandarización, Kaizen, LSS, Lean-Green, Lean 4.0; que fueran publicados entre 2003 y 2025 en revistas con revisión por pares; y que contaran con DOI verificable. Los criterios de exclusión descartaron sectores no manufactureros, salvo asimilables a producción industrial, trabajos sin reporte de resultados operativos o sin vínculo explícito con Lean, literatura gris, como tesis y documentos no revisados por pares, duplicados, y preprints sin DOI final cuando existía la versión publicada (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh et al., 2019; Maware et al., 2022; Systems Editorial Team, 2024). El proceso PRISMA comprendió cribado de título/resumen y lectura de texto completo por dos revisores de manera independiente, con resolución de discrepancias por consenso; los duplicados se depuraron mediante coincidencia por autor, año, título y validación manual. El flujo completo Identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, la cual culminó en un corpus de 25 artículos que sustentan el análisis y la discusión (Moher et al., 2009)

La extracción de datos se realizó con una plantilla estandarizada que capturó, para cada estudio, la referencia completa con DOI, el diseño metodológico, la intervención Lean, los resultados operativos del OEE y su variación, lead time y su variación, tasa de defectos, productividad, disponibilidad, confiabilidad (MTBF/MTTR) cuando correspondía, los habilitadores y barreras como liderazgo, formación, cultura, priorización de proyectos, integración con TI y I4.0, sostenibilidad y notas de calidad con base en listas de chequeo. Para favorecer la comparabilidad entre trabajos, se normalizaron unidades y se reportaron magnitudes en términos de puntos porcentuales o porcentajes de reducción cuando la información estuvo disponible (Syafwandi et al., 2020; García-García et al., 2022; Salwin et al., 2023)

La evaluación de calidad y riesgo de sesgo contempló la heterogeneidad de diseños; por ello se usaron herramientas multidiseño como MMAT (2018/2020) y criterios JBI para estudios de caso o series de casos, sintetizando para cada artículo el porcentaje de criterios cumplidos. No se excluyó evidencia únicamente por puntaje de calidad, pero se ponderó su influencia en la síntesis narrativa y en la formulación de implicaciones. Se prestó especial atención a sesgos de selección, la tendencia a publicar proyectos Lean exitosos, de medición de variabilidad en definiciones e indicadores, de publicación y de reporte selectivo. También se revisó la claridad con que cada trabajo definió bundles e identificó mecanismos de impacto, por ejemplo, VSM para reducción de esperas y reprocesos; SMED para la disminución de tiempos de cambio; TPM enfocado al aumento

de disponibilidad, acorde con la literatura de referencia (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh et al., 2019; Garza-Reyes et al., 2018).

Dados los distintos sectores, tamaños de empresa y métricas reportadas, se optó por una síntesis narrativa/temática. Se elaboraron conteos de frecuencia de herramientas/bundles por estudio y tablas de efectos señalando dirección y, cuando estuvo disponible, magnitud. Cuando tres o más artículos reportaron una misma métrica de manera comparable, se estimó una tendencia agregada (vote counting y medidas de tendencia), explicitando la limitación de no realizar meta-análisis formal por heterogeneidad en diseños y dispersiones. La organización de la síntesis consideró subgrupos por sector, madurez Lean e integración digital (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Maware & Adedeji, 2023; Komkowski et al., 2025), así como el nexo con desempeño ambiental cuando correspondió (Garza-Reyes et al., 2018; Elemure et al., 2023). Finalmente, para asegurar la reproducibilidad, las referencias se gestionaron en Mendeley y Zotero con el DOI como identificador canónico y se documentaron cadenas de búsqueda, filtros y criterios de selección; no se manipularon datos personales ni información sensible, y solo se incluyeron artículos revisados por pares con DOI verificable (Page et al., 2021; Systems Editorial Team, 2024; Dupuis & Massicotte, 2024).

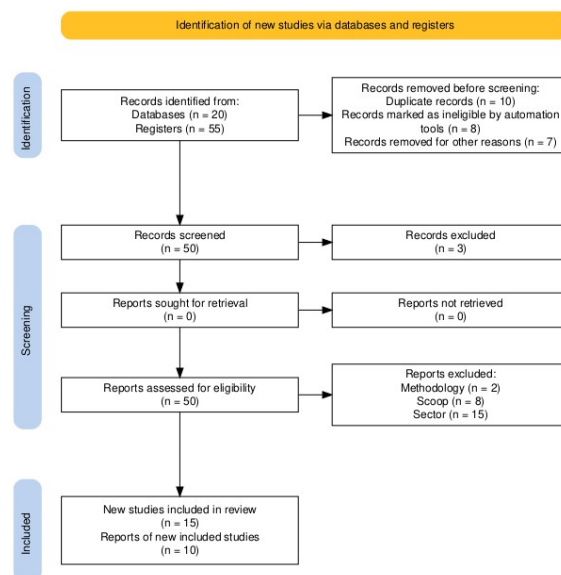


Ilustración 1: Prisma Methodology

Fuente:Autores

Resultados

El corpus final lo integran 25 estudios revisados por pares con DOI verificado (2003–2025), que abarcan revisiones, encuestas y estudios de caso en distintos sectores manufactureros. La caracterización temática confirma el predominio de enfoques bundle, tales como el JIT, TPM, kanban, estandarización, Kaizen y de herramientas VSM y SMED como vehículos de reducción de tiempos y estabilización de equipos, tal como anticipan los trabajos seminales y sus réplicas empíricas (Shah & Ward, 2003; Belekoukias, Garza-Reyes, & Kumar, 2014; Bellisario & Pavlov, 2018; Iranmanesh et al., 2019). En la síntesis descriptiva que se aprecia en la ilustración 2, se observa la frecuencia de herramientas, VSM y TPM muestran alta recurrencia, seguidos de JIT, estandarización y Kaizen; SMED aparece con fuerza en los casos aplicados, mientras que las corrientes Lean-Green y Lean 4.0 destacan en los estudios más recientes (Garza-Reyes et al., 2018; Elemure et al., 2023; Buer, Strandhagen, & Chan, 2021; Foley, O’Connor, & Thomond, 2022; Maware & Adedeji, 2023).

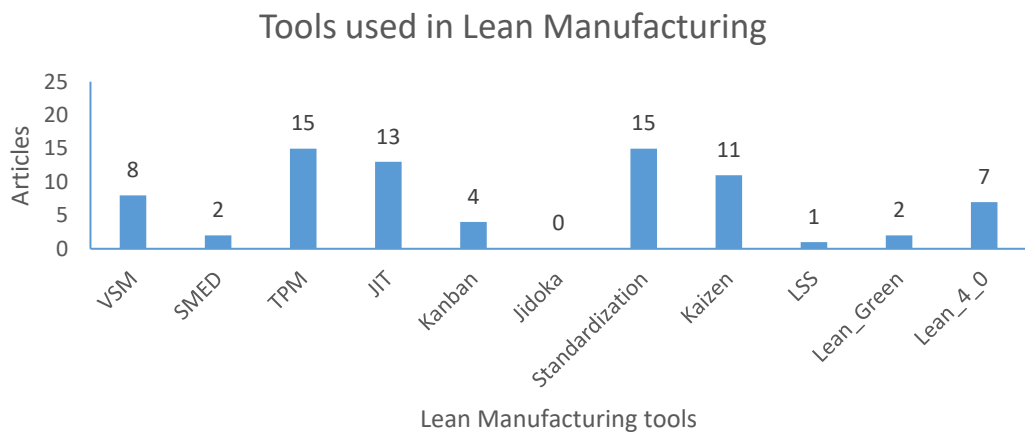


Ilustración 2: Tools used in Lean Manufacturing

Fuente:Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

Respecto a la eficiencia de equipos (OEE), el análisis de presencia presenta que el indicador es relacionado en una porción mayoritaria del corpus (Ilustración 3), coherente con la literatura sobre desempeño operacional asociado a bundles Lean (Belekoukias et al., 2014; Panigrahi, Tripathy, & Panda, 2023; Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017). La revisión específica de OEE de Syafwandi, Putra y Karlitasari (2020) proporciona definiciones, desagregación de pérdidas y

referencias de casos que permiten interpretar las mejoras cuando las publicaciones reportan valores antes/después. A nivel cualitativo, las asociaciones entre prácticas Lean y mejoras de disponibilidad, rendimiento y calidad como componentes del OEE aparecen de forma consistente en encuestas y casos (Iranmanesh et al., 2019; Schwantz, Ramos, & Gomes, 2023; Abu et al., 2022).

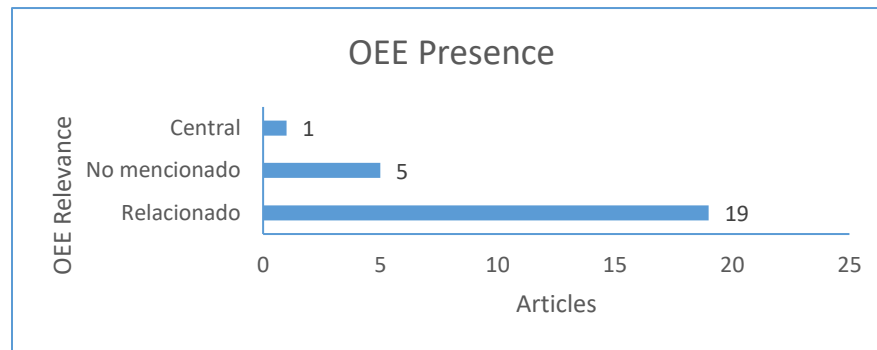


Ilustración 3: OEE Presence

Fuente: Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

En tiempos de flujo, la evidencia concentra mejoras robustas con VSM y SMED. En los casos con dato cuantitativo como se muestra en la ilustración 4, VSM reporta recortes de lead time desde -25% (Huang, Huang, & Pan, 2022) hasta magnitudes superiores al -60% en manufactura discreta y de procesos (Salwin, Hübner, & Patalas-Maliszewska, 2023), mientras que SMED logra reducciones de cambio de formato alrededor del -30% en alimentos (García-García, Singh, & Jagtap, 2022). Estas señales cuantitativas son coherentes con revisiones amplias que posicionan a VSM como herramienta de diagnóstico y a SMED como palanca de capacidad y flexibilidad (Bhamu & Sangwan, 2014; Belekoukias et al., 2014; Wang, Rahardjo, & Rovira, 2022). Además, en estudios de transformación en servicios asociados a manufactura, la estandarización y VSM se relacionan con tiempos de ciclo más cortos y mejor flujo de pedidos (Rodrigues, Nunes, & Carvalho, 2022), fenómeno extrapolable a contextos latinoamericanos con cuellos de botella logísticos.

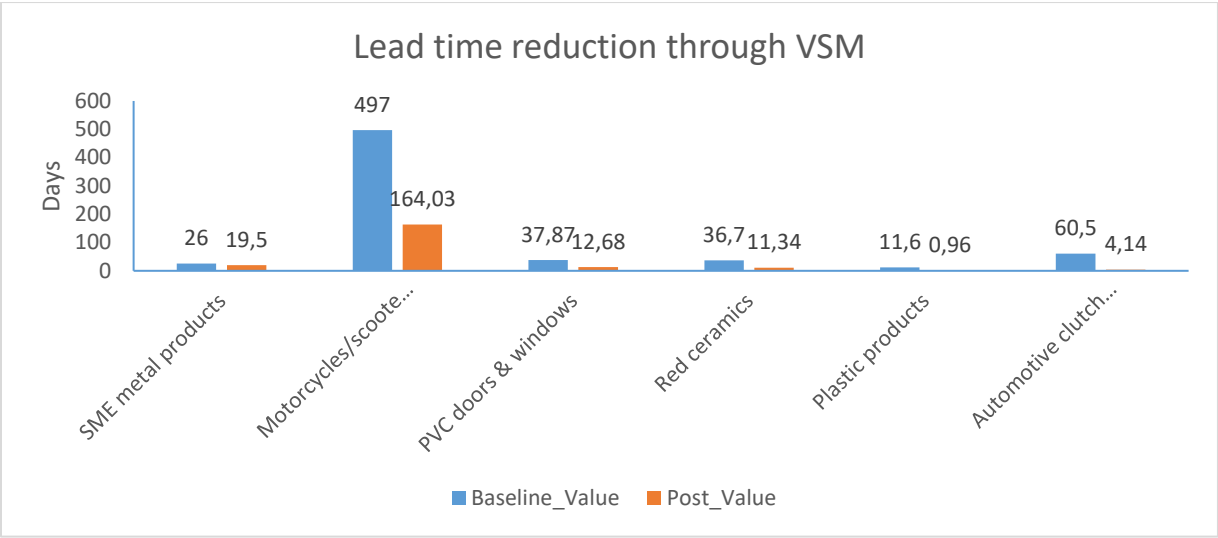


Ilustración 4: Lead time reduction through VSM

Fuente: Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

En calidad y defectos, la síntesis cualitativa que se aprecia en la ilustración 5, muestra una dirección de efecto predominantemente decreciente, cuando los estudios reportan explícitamente la métrica o proxies cercanos (rechazos, retrabajos), en línea con la lógica de calidad en la fuente (estandarización, poka-yoke, jidoka) y la estabilidad que aportan TPM y balance del flujo (Belekoukias et al., 2014; Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017; Panigrahi et al., 2023). En revisiones metodológicas y de factores críticos la evidencia es mixta o narrativa, pero converge en que la disciplina operativa, el liderazgo y la formación sostienen la disminución de variabilidad y errores (Abu et al., 2022; Systems Editorial Team, 2024; Maware, Muzinda, & Santos, 2022).

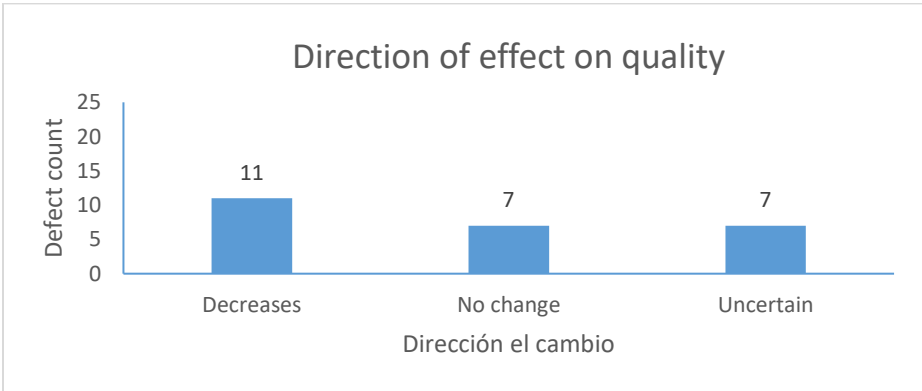


Ilustración 5: Direction of effect on quality

Fuente: Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

El mapa de calor herramienta por métrica, como se evidencia el mapa de calor en la ilustración 6, resume la cobertura cruzada: VSM co-ocurre con reportes de mejora en lead time con alta

frecuencia; SMED se asocia fuertemente con changeover; TPM y estandarización aparecen en conjunción con calidad y OEE; y Lean 4.0 se distribuye transversalmente, actuando como “amplificador” cuando se combina con procesos ya estabilizados (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Maware & Adedeji, 2023). Este patrón apoya una secuencia de adopción: diagnóstico (VSM), luego análisis de estabilidad mediante TPM y estándares, seguido por capacidad y flexibilidad SMED y finalmente la digitalización focalizada en monitoreo y analítica, para capturar y sostener ganancias (Huang et al., 2022; Salwin et al., 2023; Elemure et al., 2023).

Tool or Bundle	OEE	LeadTime	Changeover	Quality improve
VSM	7	8	1	5
SMED	1	1	2	1
TPM	11	4	1	7
JIT	9	3	1	6
Kanban	1	2	1	2
Jidoka	0	0	0	0
Standardization	11	5	1	8
Kaizen	8	4	1	5
LSS	1	1	0	1
Lean & Green	2	1	0	2
Lean 4.0	6	2	0	1

Ilustración 6: Heatmap: Metric coverage by tool/bundle (n = 25)

Fuente: Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

En la integración Lean Industria 4.0, los estudios que abordan explícitamente Lean 4.0 muestran co-ocurrencias frecuentes entre VSM, TPM, estandarización y habilitadores digitales como monitoreo en tiempo real de OEE, analítica ML, MES/SCADA e IoT (ver Ilustración 7). En particular, VSM utilizada con el monitoreo y analítica aporta visibilidad de flujo y bottlenecks; TPM conjuntamente con sensórica y SCADA mejora la confiabilidad de equipos; y estandarización mediante Kaizen e instrucciones digitales, refuerza la adherencia al método en el punto de uso (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Oluyisola et al., 2020; Maware & Adedeji, 2023; Komkowski,

Rymaszewska, & Bettoni, 2025; Wang et al., 2022; Dupuis & Massicotte, 2024). La evidencia sugiere, por tanto, complementariedad: la tecnología rinde más cuando Lean ha reducido la variabilidad y estandarizado el trabajo, y Lean captura más valor cuando existe datos en tiempo real para cerrar bucles de mejora (Buer et al., 2021; Foley et al., 2022).

En conjunto, los resultados confirman la consistencia del impacto de los bundles y herramientas Lean sobre la eficiencia operativa OEE, lead time, defectos y clarifican el papel habilitador de la digitalización y de las iniciativas Lean-Green para objetivos combinados de desempeño y sostenibilidad (Garza-Reyes et al., 2018; Elemure et al., 2023). Como implicación práctica, una hoja de ruta por madurez que priorice VSM, seguido por TPM y estándares, luego con la aplicación de SMED, analítica y IoT maximiza quick wins y sostenibilidad, con adaptación sectorial y foco en factores críticos de liderazgo, formación, priorización, que la literatura identifica como determinantes del éxito (Abu et al., 2022; Systems Editorial Team, 2024; Maware et al., 2022).

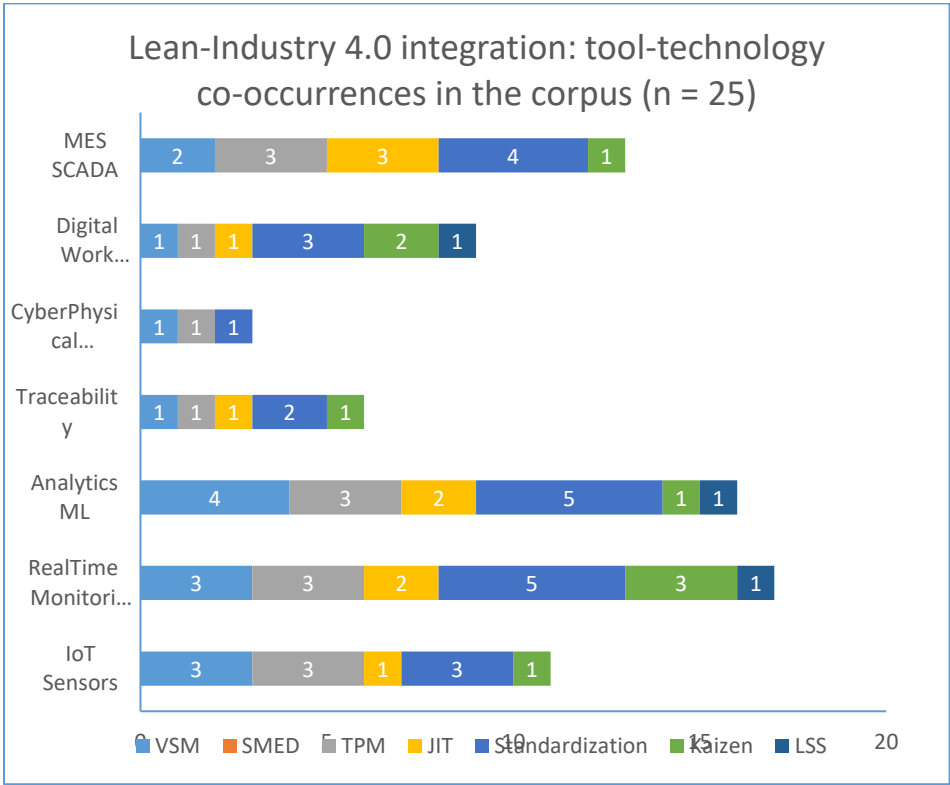


Ilustración 7: Lean-Industry 4.0 integration: tool-technology co-occurrences in the corpus (n = 25)

Fuente: Autores a partir de los 25 artículos metodología prisma

Discusión

Los resultados confirman que la lógica de bundles, es el principal mecanismo de impacto de Lean sobre la eficiencia operativa. En línea con la teoría seminal, los paquetes que articulan flujo como es el JIT, Kanban y VSM, calidad en la fuente tales como la estandarización, jidoka, Kaizen y estabilidad de equipos TPM, muestran asociaciones más consistentes y sostenidas con OEE, lead time y defectos que las intervenciones aisladas (Shah & Ward, 2003; Belekoukias, Garza-Reyes, & Kumar, 2014; Bellisario & Pavlov, 2018). Este patrón explica por qué, en el corpus, VSM y TPM aparecen con alta recurrencia, el primero como diagnóstico sistémico que revela esperas, reprocesos y desalineaciones del flujo; el segundo como pilar de confiabilidad que reduce pérdidas por paradas y variabilidad del proceso (Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh, Zailani, Nikbin, & Foroughi, 2019). A su vez, SMED opera como acelerador de flexibilidad, y su efecto en tiempos de cambio impacta capacidad disponible y, por esa vía, componentes del OEE (García-García, Singh, & Jagtap, 2022; Bhamu & Sangwan, 2014).

La dirección de efecto sobre calidad y defectos es mayoritariamente decreciente, coherente con la combinación de estandarización de poka-yoke, jidoka y con la eliminación de causas de variación desde el diseño del flujo (Belekoukias et al., 2014; Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017; Panigrahi, Tripathy, & Panda, 2023). No obstante, varios estudios no reportan cifras comparables o lo hacen de forma cualitativa, lo cual es una limitación frecuente en literatura de operaciones, lo que sugiere reforzar futuros reportes con definiciones operativas de métricas, ventanas temporales claras y líneas base homogéneas (Syafwandi, Putra, & Karlitasari, 2020; Systems Editorial Team, 2024). En particular, la desagregación del OEE en la disponibilidad, rendimiento y calidad, permitiría atribuir mejor qué práctica incide en cada componente y con qué magnitud.

Los hallazgos también respaldan la tesis de complementariedad Lean Industria 4.0: la digitalización amplifica el valor de Lean cuando se despliega sobre procesos ya estabilizados y estandarizados, y Lean guía la priorización digital hacia cuellos de botella y decisiones de alto retorno (Buer, Strandhagen, & Chan, 2021; Foley, O'Connor, & Thomond, 2022). En el corpus, las co-ocurrencias más frecuentes son VSM con monitoreo/analítica en tiempo real permiten visibilizar flujo y bottlenecks, TPM conjuntamente con sensórica/MES-SCADA para cuidado predictivo y reducción de paradas; estandarización/Kaizen con instrucciones digitales/AR, utilizadas para disciplina de método en el punto de uso (Wang, Rahardjo, & Rovira, 2022; Oluyisola et al., 2020; Komkowski, Rymaszewska, & Bettoni, 2025; Dupuis & Massicotte, 2024).

En cuanto a factores críticos de éxito, tres elementos emergen de forma transversal. Primero, liderazgo con objetivos y métricas alineadas, algo subrayado por revisiones de CSFs y por estudios de desempeño (Abu, Gholami, Saman, & Zakuan, 2022; Systems Editorial Team, 2024; Panigrahi et al., 2023). Segundo, capacidades en el piso de fábrica como la formación, resolución de problemas, cultura de experimentación, que permitan sostener estándares y ciclos de mejora (Maware, Muzinda, & Santos, 2022; Bellisario & Pavlov, 2018). Tercero, priorización de proyectos mediante VSM y análisis de restricciones para evitar dispersiones y asegurar tracción temprana, lo cual es clave para mantener el cambio y legitimar la inversión (Belekoukias et al., 2014; Iranmanesh et al., 2019). Cuando estas condiciones faltan, aparecen patrones de implementación fragmentada y fatiga del programa, que explican parte de los resultados mixtos o los retrocesos post-proyecto (Maware et al., 2022; Abu et al., 2022).

La dimensión ambiental agrega un matiz relevante: la evidencia sugiere co-movimientos entre Lean y desempeño ambiental cuando se eliminan desperdicios energéticos y de materiales, lo que encaja con el enfoque Lean-Green (Garza-Reyes, Kumar, Chaikittisilp, & Tan, 2018; Elemure, Dhakal, Leseure, & Radulovic, 2023). Este hallazgo amplía la justificación económica de Lean, ya que los ahorros por eficiencia, tiempos, calidad y energía, actúan como palancas de ROI que pueden sostener el caso de negocio en contextos de inversión restringida, típico de PYMEs latinoamericanas (Huang et al., 2022; Salwin et al., 2023).

Desde una perspectiva contextual de América Latina, los resultados invitan a evitar “big bang” y optar por secuencias pragmáticas con alcance acotado y métricas de impacto tempranas. En sectores de alimentos, metalmecánica y textil, presentes en estudios de caso, es viable iniciar con VSM en la familia de productos dominante, lanzar SMED en el cuello de botella primario y estandarizar las operaciones críticas con TPM autónomo; solo entonces priorizar RT-OEE o tableros analíticos para sostener y escalar (García-García et al., 2022; Salwin et al., 2023; Buer et al., 2021; Foley et al., 2022). Este enfoque reduce el riesgo de complejidad y mejora la absorción del cambio.

Entre las limitaciones de la revisión, se reconoce la heterogeneidad de diseños y de métricas, que impidió un meta-análisis formal y obligó a una síntesis narrativa. También es posible un sesgo de publicación hacia casos exitosos y una sub-representación de fracasos o resultados nulos. A futuro, se recomienda: (i) reportar líneas base y efectos con unidades comparables (puntos porcentuales, % de reducción, tiempos normalizados); (ii) desagregar componentes de OEE y relacionarlos con

prácticas específicas; (iii) estudios longitudinales que midan sostenibilidad del efecto; y (iv) marcos de priorización Lean-I4.0 que estimen ROI por caso de uso en función de la madurez operativa (Syafwandi et al., 2020; Buer et al., 2021; Foley et al., 2022; Komkowski et al., 2025; Systems Editorial Team, 2024).

Conclusiones

La evidencia analizada respalda que Lean Manufacturing funciona como un sistema socio técnico cuyo rendimiento depende de la implementación coherente de paquetes de prácticas y no de la aplicación aislada de herramientas. Cuando el diseño de flujo, mediante JIT, *Kanban* y VSM, la calidad en la fuente mediante la estandarización, *jidoka* y Kaizen), así como la estabilidad de equipos TPM se despliegan de forma coordinada, las mejoras en eficiencia operativa, expresadas en OEE, lead time y defectos, son más consistentes y sostenibles que en intervenciones puntuales, en línea con la teoría de bundles y con los metaanálisis narrativos y empíricos revisados (Shah & Ward, 2003; Belekoukias, Garza-Reyes, & Kumar, 2014; Bellisario & Pavlov, 2018).

En ese marco, VSM, TPM y SMED sobresalen como palancas nucleares: VSM posibilita un diagnóstico sistémico y el rediseño del flujo; TPM eleva la disponibilidad y la confiabilidad al reducir pérdidas por paradas; y SMED acorta de manera significativa los tiempos de cambio y amplía la capacidad efectiva. La combinación de estas prácticas explica reducciones sustantivas de lead time, incluidos recortes superiores al 60% en manufactura discreta y de procesos, así como disminuciones cercanas al 30% en cambios de formato, con efectos positivos subsecuentes en OEE siempre que se consoliden estándares y control del proceso (Bhamu & Sangwan, 2014; García-García, Singh, & Jagtap, 2022; Salwin, Hübner, & Patalas-Maliszewska, 2023; Syafwandi, Putra, & Karlitasari, 2020).

Asimismo, la revisión pone de manifiesto la complementariedad entre Lean e Industria 4.0: la digitalización amplifica los efectos de Lean cuando se aplica tras reducir la variabilidad y fijar estándares, y, a la inversa, Lean orienta la priorización digital hacia casos de uso de alto retorno—monitoreo en tiempo real de OEE, analítica para cuellos de botella, MES/SCADA y IoT, las cuales cierran bucles de mejora con datos operativos (Buer, Strandhagen, & Chan, 2021; Foley, O'Connor, & Thomond, 2022).

El alineamiento entre desempeño operativo y ambiental, el cual es propio de enfoques Lean y Green, fortalece el caso de negocio al materializar ahorros simultáneos de tiempo, defectos, energía

y materiales, y amplía el alcance de Lean hacia objetivos integrados de eficiencia y sostenibilidad (Garza-Reyes, Kumar, Chaikittisilp, & Tan, 2018; Elemure, Dhakal, Leseure, & Radulovic, 2023). En conjunto, y pese a la heterogeneidad de diseños y reportes, la convergencia de resultados respalda que Lean, desplegado como sistema e integrado selectivamente con I4.0, mejora de forma robusta la eficiencia operativa y ofrece una senda práctica y escalable para la excelencia manufacturera contemporánea (Shah & Ward, 2003; Belekoukias et al., 2014; Buer et al., 2021; Foley et al., 2022)

Referencias

1. Abu, F., Gholami, H., Saman, M. Z. M., & Zakuan, N. (2022). Critical success factors for lean implementation: A systematic review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(4), 685–713. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0029>
2. Bellisario, A., & Pavlov, A. (2018). Performance management practices in lean manufacturing organisations: A systematic review of research evidence. *Production Planning & Control*, 29(5), 367–385. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1432909>
3. Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346–5366. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.903348>
4. Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
5. Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalization on operational performance. *International Journal of Production Research*, 59(7), 1976–1992. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684>
6. Dupuis, M., & Massicotte, A. (2024). Digital Lean production and the reorganization of work in manufacturing. *Work and Occupations*. <https://doi.org/10.1177/07308884241288580>
7. Elemure, I., Dhakal, H. N., Leseure, M., & Radulovic, J. (2023). Integration of Lean Green and sustainability in manufacturing: A review. *Sustainability*, 15(13), 10261. <https://doi.org/10.3390/su151310261>
8. Foley, S., O'Connor, R. V., & Thomond, P. (2022). Lean 4.0 project and process management practices: A review and research agenda. *Machines*, 10(12), 1119. <https://doi.org/10.3390/machines10121119>
9. García-García, G., Singh, Y., & Jagtap, S. (2022). Optimising changeover through lean-manufacturing principles: A case study in a food factory. *Sustainability*, 14(14), 8279. <https://doi.org/10.3390/su14148279>
10. Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Chaikittisilp, S., & Tan, K. H. (2018). The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations.

- International Journal of Production Economics, 200, 170–180.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.030>
11. Huang, S., Huang, S.-H., & Pan, Y.-C. (2022). A Lean Manufacturing Progress Model for SMEs. *Processes*, 10(5), 835. <https://doi.org/10.3390/pr10050835>
 12. Iranmanesh, M., Zailani, S., Nikbin, D., & Foroughi, B. (2019). Effect of lean manufacturing practices on performance: Moderating role of supply chain innovation. *Sustainability*, 11(4), 1112. <https://doi.org/10.3390/su11041112>
 13. Komkowski, M., Rymaszewska, A., & Bettoni, A. (2025). Operational practices for integrating Lean manufacturing and Industry 4.0: A review. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2381127>
 14. Maware, C., & Adediji, O. (2023). Can Industry 4.0 assist Lean Manufacturing? A systematic review. *Sustainability*, 15(3), 1962. <https://doi.org/10.3390/su15031962>
 15. Maware, C., Muzinda, A., & Santos, J. (2022). The challenges of lean transformation and sustainability. *Sustainability*, 14(10), 6287. <https://doi.org/10.3390/su14106287>
 16. Oluyisola, O. E., et al. (2020). Smart production planning and control: Concept, use-case matrix and product–process framework. *Sustainability*, 12(9), 3791. <https://doi.org/10.3390/su12093791>
 17. Panigrahi, S. K., Tripathy, S., & Panda, R. (2023). Lean manufacturing practices for operational and business performance: Empirical evidence. *IIM Kozhikode Society & Management Review*, 12(1), 77–92. <https://doi.org/10.1177/18479790221147864>
 18. Rodrigues, R., Nunes, E., & Carvalho, H. (2022). Using Lean to improve operational performance in a retail store and e-commerce service: A Portuguese case study. *Sustainability*, 14(10), 5913. <https://doi.org/10.3390/su14105913>
 19. Salwin, M., Hübner, P., & Patalas-Maliszewska, J. (2023). Value Stream Mapping in manufacturing—Case study and ROI analysis. *Energies*, 16(21), 7292. <https://doi.org/10.3390/en16217292>
 20. Schwantz, J., Ramos, M., & Gomes, C. (2023). Lean manufacturing practices and performance: Evidence from a public industrial institution. *Logistics*, 7(3), 52. <https://doi.org/10.3390/logistics7030052>

21. Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
22. Syafwandi, S., Putra, D. M., & Karlitasari, L. (2020). Overall Equipment Effectiveness (OEE): A systematic literature review. *Applied Sciences*, 10(18), 6469. <https://doi.org/10.3390/app10186469>
23. Systems Editorial Team. (2024). Critical success factors of lean production: A systematic review. *Systems*, 12(11), 501. <https://doi.org/10.3390/systems12110501>
24. Wang, F.-K., Rahardjo, B., & Rovira, P. R. (2022). Lean Six Sigma with Value Stream Mapping in Industry 4.0 for human-centered workstation design. *Sustainability*, 14(17), 11020. <https://doi.org/10.3390/su141711020>
25. Wickramasinghe, G. L. D., & Wickramasinghe, V. (2017). Implementation of lean production practices and manufacturing performance: The role of lean duration. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(4), 531–550. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2016-0112>.