

70

Fecha de presentación: septiembre, 2022

Fecha de aceptación: noviembre, 2022

Fecha de publicación: enero, 2023

EFEECTO

DE LA INDUSTRIA 4.0 EN CADENA DE SUMINISTRO LEAN Y EL RENDIMIENTO OPERATIVO

EFFECT OF INDUSTRY 4.0 ALONG LEAN SUPPLY CHAIN AND OPERATIVE PERFORMANCE

Mario Roberto Acevedo Amaya^{1,2}

E-mail: mario.acevedo@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9763-8913>

Cesar Humberto Ortega-Jimenez¹

E-mail: cortega@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1911-9725>

Pedro Garrido-Vega²

E-mail: pgarrido@us.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9375-5773>

José A.D. Machuca²

E-mail: jmachuca@us.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3653-2450>

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH.

²Universidad de Sevilla, España.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Acevedo Amaya, M. R., Ortega-Jimenez, C. H., Garrido-Vega, P., Machuca, J.A.D. (2023). Efecto de la industria 4.0 en cadena de suministro Lean y el rendimiento operativo. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(1), 672-683.

RESUMEN

La globalización de los mercados y las demandas de los clientes han acelerado la inclusión de la industria 4.0 (I4.0) en la cadena de suministros (CS), siendo un factor importante para mejorar las prácticas del Lean (LSCM) y el Rendimiento operativo de manufactura (RM). El propósito del estudio es analizar de forma empírica si la implementación de la I4.0 influye en LSCM y el RM. Un total de 309 empresas de 14 países y tres sectores (Maquinaria, Electrónica y Automotriz) fueron estudiadas. Para dar respuesta a las hipótesis propuestas se empleó el método de Regresiones Jerárquicas y la mediación estadística. Las evidencias muestran una relación positiva significativa entre I4.0, LSCM y RM. También, se evidencia que existe un efecto mediador de la I4.0 en el LSCM, el efecto directo se reduce y es no significativo cuando participa I4.0 a lo largo de LSCM y RM. Esto indica que I4.0 no sustituye, sino que complementa a LSCM con un impacto significativo en la mejora del RM.

Palabras clave: Industria 4.0, Lean, Cadena de Suministros, Alto rendimiento

ABSTRACT

the globalization of markets and customers' demands have accelerated the inclusion of industry 4.0 (I4.0) in the supply chain (SC), being an important factor to improve Lean practices (LSCM) and Manufacturing Performance (RM). The purpose of this study is to empirically analyze whether I4.0 implementation influences LSCM and RM. A total of 309 firms from fourteen countries and three sectors (Machinery, Electronics and Automotive) have been studied. Hierarchical regression analysis and mediation effect have been applied to test the formulated hypotheses. The evidence shows that I4.0 significantly improve LSCM and RM, exist a positive relationship between these variables. Also, there is a mediating effect of I4.0 along LSCM and RM, this indicates that I4.0 does not replace but rather complements LSCM with a significant impact on RM.

Keywords: Industry 4.0, Lean, Supply chain management, Operative performance

INTRODUCCIÓN

La globalización de los mercados y el intercambio económico ha llevado a las organizaciones a buscar acciones para responder rápidamente a las demandas de los clientes. Las organizaciones requieren aumentar su capacidad de respuesta, ser más ágiles, flexibles, eficientes para mejorar la calidad y ajuste a las necesidades de los clientes (Salam, 2019).

Esto ha generado que cada día más empresas se interesen por aplicar acciones de mejora continua (entre ellas el Lean) y la inclusión de tecnologías (relativas a la Industria 4.0) en sus organizaciones. Aunque dichas necesidades no son nuevas, para alcanzar la mejora continua y el alto rendimiento, Ohno & Bodek (1988) indicaba que existían dos pilares fundamentales; el Justo a Tiempo (JIT) y la Autonomía (Pilares base del modelo Toyota Production System). Estos pilares están presentes en el Lean manufacturing (LM) y hacen más eficientes las Cadenas de Suministros (CS) mejorando los rendimientos financieros y no financieros de las empresas (Ohno & Bodek, 1988). Para alcanzar el primer pilar (modelo JIT) es prerequisite que exista información confiable y a tiempo, un nivel aceptable de confiabilidad en los inventarios y menos desperdicios (Buer et, al. 2018).

Es decir, se requiere de la digitalización de la Cadena de Suministros. El segundo pilar (la Autonomía) se alcanza cuando se otorga inteligencias a las máquinas con el propósito de que estas puedan aumentar su autonomía, distinguir aquellos procesos normales y anormales, jugando un rol trascendental la inclusión de la tecnología a lo largo de la CS. Las máquinas reportan las fallas de forma rápida, segura, con mediciones precisas y soluciones más veloces, ajustadas a los proveedores, clientes y empresa (Buer et, al. 2018). La participación de las Tecnologías de la Información en los procesos productivos ha generado la Cuarta Revolución Industrial, denominada Industria 4.0 (I4.0), dicha revolución digital a mediados del siglo pasado y es caracterizada por una fusión de tecnologías que relacionan los aspectos físicos, digitales y biológicos. Es considerada una vía para la mejora de los procesos de manufactura generando una mayor trazabilidad a las operaciones y por ende una mejora en el rendimiento de CS (Bougdira et, al. 2019).

Desde la perspectiva operativa, la introducción de la I4.0 en las CS juega un rol importante para el rendimiento de las operaciones, dado que permite la inclusión de tecnologías que aumentan la digitalización, reduce los tiempos, recursos materiales y humanos, tiempos de procesamiento, ajuste a los clientes, resultando en un

incremento del desempeño y la productividad de la empresa. (Dalenogare et, al. 2018).

A nivel financiero, la inclusión de la I4.0, aunque sus costos de implementación representen retos, existe un impacto positivo y significativo en los retornos de las empresas (Lin, et al. 2019). A pesar de lo anterior, no todas las empresas han tenido los rendimientos deseados, las tecnologías incluidas son escasas y costosas, el nivel de aplicación del Lean continúa siendo bajo, muchas empresas encuentran dificultades al momento de implementar el Lean en la CS. A la vez, existen empresas que inicial el proceso de implementación del Lean y la I4.0 pero les resulta difícil mantener el proyecto de implementación de ambas (Buer et, al., 2018). Al mismo tiempo, muchas organizaciones desconocen efecto o el rol interviniente que puede existir de la I4.0 en la Cadena de Suministros Lean (LSCM) para mejorar el rendimiento de la empresa.

Ante el aumento de las necesidades de digitalización en la CS y la inclusión de la I4.0 en las operaciones y en específico en LSCM, se requiere de mayores estudios que establezcan el efecto de la I4.0, indicando si estos son complementarios, sustitutos o un medio, dado que muchas prácticas asociadas al Lean descansan sus rendimientos en la inclusión tecnológica. Se requieren de más investigaciones que demuestre de forma empírica las oportunidades que juega la introducción de las nuevas tecnologías aplicadas al LSCM para mejorar los rendimientos. Como resultado de los vacíos de conocimiento en la literatura se establece el objetivo del estudio, el cual consiste en realizar un análisis empírico de como la I4.0 aplicado en LSCM mejora el RM, para dar respuesta al objetivo de la investigación se plasman las siguientes interrogantes: P1. ¿Cuál es el nivel de relación y significancia entre la I4.0 y el RM?, P2. ¿Cuál es el nivel de relación y significancia entre la I4.0 y el LSCM? P3. ¿Cuál es el nivel de dependencia, relación y significación entre la I4.0, LSCM y RM? P4. ¿Cuál es efecto de I4.0 a lo largo de LSCM y RM?

La investigación se centra en tres sectores; electrónica, automotriz y maquinaria industrial la cual fueron seleccionadas por ser industrias en transición, operan en entornos globales, son empresas con plantas en América, Asia y Europa, siendo las áreas de enfoque del proyecto HPM diferenciados en sus niveles tecnológicos, procesos, ciclos de productos, relaciones con los clientes y proveedores (Arana-Solares et, al., 2019). Esta investigación provee una nueva perspectiva de como los distintos niveles de implementación del LSCM y de la I4.0 afectan el RM en las empresas del proyecto HPM. El documento está organizado de la siguiente forma; Primero se presenta la Revisión de la literatura, ofreciendo un marco referencial

de cada una de las variables en estudio. Segundo, se da a conocer los materiales y métodos para explicar los objetivos de la investigación. Tercero, se presenta los resultados y discusión de los hallazgos clave encontrados en la investigación. Finalmente, se describen las conclusiones y futuras investigaciones relativas al estudio.

El término de Industria 4.0 fue acuñado por primera vez en Alemania por la Agencia de Desarrollo Económico Alemana, la cual simboliza el inicio de la Cuarta Revolución Industrial y representa la tendencia actual de las tecnologías de automatización en la manufactura industrial, existen más de 111 tecnologías digitales empleadas para capturar, crear, almacenar, procesar, compartir información (Silva et al. 2022) pero las más utilizadas y analizadas en la literatura son; Cyber Physical Systems (CPS), Internet de las cosas (IoT), y la Computación en la Nube (Xu, et al., 2018).

I4.0 se puede definir como la suma de tecnologías e innovaciones disruptivas derivadas e implementadas en la Cadena de Suministros para alcanzar una automatización, digitalización, transparencia, movilidad, modularización, redes de colaboración y una socialización de los procesos y productos (Raji et al. 2021). También, la I4.0 puede ser entendida como la inclusión de sistemas ciber físicos a lo largo de la CS que genera, analiza y distribuye información de articulada y autónoma con una menor participación humana.

I4.0 es referida en la literatura como Manufactura inteligente, Manufactura avanzada, Fabrica inteligente, redes de manufactura, cuya característica es equipar a las organizaciones con tecnologías, sensores, inteligencia artificial, analítica de datos, conectividad entre ellas, para mejorar el rendimiento operativo como financiero de las empresas (Amaya et al. 2020). Las tecnologías empleadas en la I4.0 han reportado retos en su implementación y a la vez, un impacto positivo en la fabricación, producción y distribución de bienes y servicios con una mejora en la productividad y rendimientos de las empresas (Raji, et al., 2021). La implementación de la I4.0 representa una serie de desafíos para cada sector, aun se carece de consenso en su definición e impacto en las operaciones esto ha aumentado el interés por capturar el estado del arte y al mismo tiempo proveer direcciones para evaluar el rol que juega a lo largo de las CS (Tascón et al. 2022)

La Cadena de Suministros (CS) es una coordinación estratégica y sistemática de las funciones tradicionales de la empresa y las tácticas a lo largo de las funciones del negocio en la que involucra empresas y clientes para la mejora del desempeño. A la vez, SCM es una red de organizaciones involucradas entre sí para crear valor agregado

a los productos y servicios. Es empleada para llegar a los consumidores, considerando las materias primas hasta los consumidores por medio de un flujo diseñado de información, distribución de materiales y efectivo. La cadena de suministros es un paradigma de las tecnologías de información en el siglo XXI, se ha centrado en la globalización y las herramientas de gestión de la información que integran compras, operaciones y logísticas.

El conjunto de prácticas de la cadena de suministros mediadas por el recurso humano y la tecnología permiten la mejora de los rendimientos de las organizaciones. SCM es interdisciplinario, que involucra distintas áreas tales como; ventas, logística, compras, proveedores, transporte, etc. Para minimizar los costos y aumentar los niveles de satisfacción de los clientes. El rendimiento de la SCM y su aporte al rendimiento de las empresas se ha evaluado a través de costo, flexibilidad, capacidad de respuesta y las relaciones, eficiencia y efectividad de las operaciones, entre otras.

El Lean Manufacturing (LM) es una filosofía originada del Sistema de Producción de la Toyota con el propósito de hacer más eficiente el uso de los recursos (Raji, et al., 2021). LM ayuda a las compañías por mejorar las áreas de producción, mejorar la calidad y flexibilidad (Buer, et al. 2018). LM es uno de los campos de estudio emergentes (Jasti & Kodali, 2015) producto que se ha modificado y adoptado a lo largo del tiempo por las empresas para permanecer competitivo en los mercados. LM se ha convertido en uno de los sistemas de producción más difundidos, con una relación positiva con la mejora del rendimiento de las operaciones, cuyas prácticas y principios de LM apuntan a reducir el desperdicio y la variabilidad, agregando más valor a los clientes. La aplicación del LM en la cadena de suministros para optimizar las actividades, flujos de información, materiales y finanzas desde el punto de vista de los clientes se le conoce como Cadena de Suministros Lean (LSCM) (García-Buendía et al., 2021).

Debido a que los niveles de competitividad y presiones de las empresas exigen una reducción continua de los tiempos de entrega y el costo, y aumentar el nivel de calidad del servicio, la integración de principios lean y SCM ha surgido como un enfoque nuevo y efectivo para ayudar a las empresas a mejorar la calidad de su servicio, lograr una entrega de pedidos más rápida y aumentar sus rendimientos como resultado de la cooperación más dinámica y efectiva con los proveedores (Khorasani et al., 2020).

El LSCM se ha centrado en atacar ocho tipos de desperdicios asociados a; sobre procesos, sobre producción, defectos, esperas o demoras, movimientos, recurso

humano mal utilizado, transporte y problemas de inventarios (Taghavi & Beauregard, 2020). Los pilares del LSCM son; Administración de las tecnologías de la información, Administración de los suministros, Eliminación de desperdicios, Producción JIT, Administración de las relaciones con los clientes, Administración de la logística, Compromiso de la alta dirección (Jasti & Kodali, 2015).

Cuando a cada uno de los pilares del Lean en la CS se complementan o emplean herramientas y prácticas asociadas a la I4.0 los desperdicios y tiempos mejoran, la inclusión de la tecnología hace menos intensiva las labores de los empleados por la mejora continua, incidiendo directamente en el rendimiento de las operaciones de las plantas de manufactura (Taghavi & Beauregard, 2020). La inclusión de la I4.0 en las prácticas del LM en la Cadena de Suministros lejos de debilitar o desaparecer el Lean, ha permitido aumentar la madurez de los programas de Lean de las empresas, debido a que permite contar con las desviaciones e inconformidades. El Lean se convierte en un prerrequisito para la adopción de la I4.0 y un soporte para las Tecnologías de Manufactura avanzada maximizando con ello, los rendimientos de las Plantas (Buer et al., 2018).

Con el paso del tiempo, las empresas han requerido aumentar los procesos de digitalización para sobrevivir en los ambientes competitivos y dinámicos. Las compañías necesitan las tecnologías emergentes para administrar y mejorar el flujo de sus datos creando valor y mejorando la satisfacción de los clientes. La introducción de la I4.0 en la manufactura ha tenido muchos impactos en SCM, se han convertido en un elemento crucial para transparentar las operaciones desde que se requieren materias primas hasta que se entregan a los clientes (Tjahjono, et al. 2017).

A la vez, debido que las Cadenas de Suministros son vulnerables, complejas e inciertas, la inclusión del LM ha sido clave para su mejora, no obstante, hoy en día, es necesario que la CS sea inteligente y es ahí donde la I4.0 juega un papel clave para llevar a cabo las transformaciones digitales (Núñez-Merino, et al. 2020). Las tecnologías clave que permiten la implementación de la I4.0 en SCM son; CPS, IoT, Robotics, Big data, Cloud manufacturing, Realidad aumentada, RFIDS y Tecnologías de la información y comunicación. La inclusión de las tecnologías a lo largo de CSM es denominada como CSM4.0 (Frazzon et al., 2019). Producto de la revisión de la literatura conduce a plasmar los siguientes supuestos:

H1. Existe un efecto positivo y significativo de la I4.0 en el RM,

H2. Existe un efecto positivo y significativo de la I4.0 en el LSCM.

H3. Existe un efecto positivo y significativo de la I4.0 y LSCM sobre el RM.

H4. La I4.0 media la relación del LSCM y RM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población, muestra y recolección de datos

El análisis empírico fue basado en los datos de la cuarta ronda del proyecto internacional High Performance Manufacturing (HPM), que incluye 309 empresas de los sectores de Maquinaria, Electrónica. Se excluye el sector de Autosupplier dado que las respuestas alcanzadas para la variable en estudio fueron mínimas. La técnica de investigación empleada para recolectar los datos fue la encuesta. La base de datos proviene de 14 países (Austria, Brasil, China, Finlandia, Alemania, Israel, Italia, Japón, Corea, España, Suecia, Taiwán, Reino Unido y Vietnam) (Arana-Solares, et al. 2019). Las variables empleadas en la investigación fueron evaluadas de forma porcentual, empleando una escala de likert de 5 puntos (donde 1 = altamente en desacuerdo hasta llegar a 5 = totalmente de acuerdo). (ver Tabla 1)

Se aplicó un cuestionario a cada empresa, el cual fue respuesta por dos diferentes gerentes y trabajadores, alcanzando un total de 23 informantes por Planta. Todas las escalas empleadas en el cuestionario corresponden al Proyecto HPM, mismas que fueron validadas por expertos del proyecto, y por la aplicación triangulada del cuestionario en las Plantas para evitar el sesgo y aumentar la validez del cuestionario. El cuestionario fue validado en la primera, segunda y tercera ronda del proyecto HPM y fue traducido a los idiomas pertinentes para cada país. También se efectuaron validaciones de confiabilidad, correlaciones, validaciones de constructos, correlaciones canónicas, análisis factoriales, entre otros. (Arana-Solares, et al., 2019).

Método analítico

Para evaluar las hipótesis de investigación fue empleado el modelo de análisis de regresión jerárquica por bloques, cuya ecuación es $Y = aX_1 + bX_2 + \dots + nX_n + C$. El cual es utilizado para identificar el porcentaje de la varianza explicada por cada variable independiente en un modelo separado. Esta es una metodología apropiada cuando existe una correlación entre las variables dependientes, además que se utiliza por sobre SEM cuando la muestra es menor que 200 unidades por sector. La muestra es de tipo probabilístico estratificado, siendo un total de 78 empresas en el sector de Automotriz, 115 en electrónica

y 116 en el de Maquinaria industrial. Las variables dependientes son; 1. Cadena de Suministros Lean, 2. Rendimiento de manufactura. La variable independiente es: I4.0. Los modelos de investigación son presentados a continuación. El cálculo para determinar la muestra en función del modelo de cada regresión lineal está determinado por $50+8K$ (k corresponde al número de variables independientes), en este sentido, para el primer modelo (H1) se debe considerar una muestra mínima de $50+8(1)=58$ Plantas, para el modelo H2, se debe considerar una muestra de $50+8(1)=58$, para el modelo H3 se debe considerar un total de $50+8(2)=66$ Plantas. Al mismo tiempo, para evaluar el modelo se requiere que los predictores independientes alcancen al menos una muestra de $104+K$ (predictores), esto es igual a $104+(2)=106$ Plantas. El total de la muestra empleada para la estimación del modelo supera dicho valor (Arana-Solares, et al. 2019).

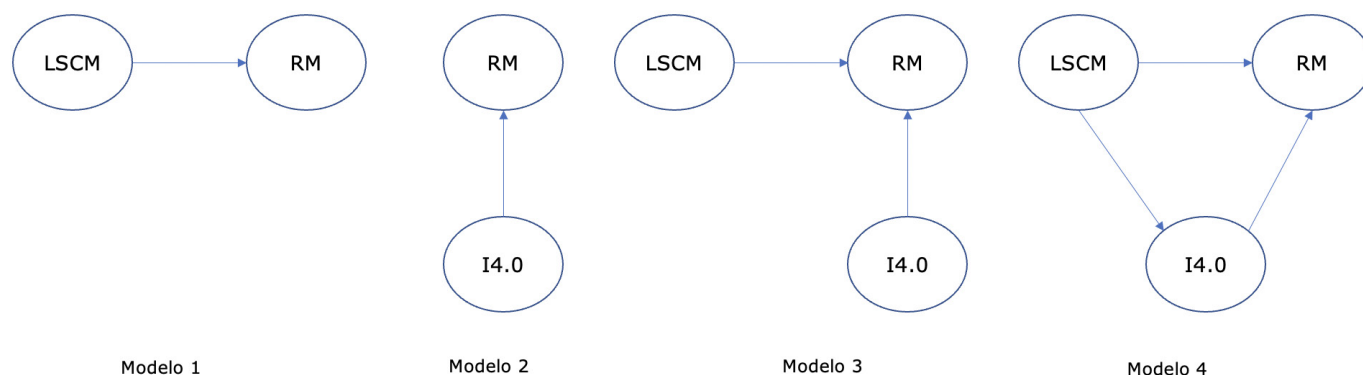


Figura 1. Modelo de investigación. Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descriptivos

Las Plantas de manufacturas encuestadas cuentan con un promedio de 630 empleados cada una, diseminados en las áreas de Administración de la Planta, ventas, Manufactura, Control de calidad, mejora continua, Supervisión de labores, Finanzas y Contabilidad, Diseño de nuevos productos, rediseño, Almacén, logística y distribución, Recursos humanos y Control de la producción. El 61% de las empresas tienen una capacidad promedio de utilización de la Planta alta (un promedio del 88% de utilización de la Planta). El 31% evidencian una capacidad de utilización de la Planta media (un promedio del 70% de utilización de su Planta), y un 9% evidencian una capacidad de utilización de la Planta baja (un promedio del 38% de utilización de su Planta). Un total de 166 empresas tienen una antigüedad de 1 a 5 años. Un total de 20 empresas tienen antigüedad de 11 a 20 años. 6 empresas evidencian una antigüedad de 25 a 35 años. 9 empresas tienen una antigüedad que ronda los 36 a 60 años de operar, y finalmente 2 empresas tienen más de 80 años de operar. En cuanto al uso de software en las distintas áreas de las empresas en estudio, se revisaron 31 áreas, donde solo el 42% de las mismas cuenta con software como soporte a la operación. (ver tabla 1)

Tabla 1. Áreas de las Plantas de manufactura soportadas por software

Áreas que son soportadas por software	Sí cuenta con software	No cuenta con software
Programación de la producción	110	155
Planificación de las capacidades	120	146
Planeación de los requerimientos de materias primas / materiales	101	170
Planificación de los requerimientos de capacidad	119	150
Programación de la capacidad finita	123	145

Áreas que son soportadas por software	Sí cuenta con software	No cuenta con software
Control de la Planta	123	147
Administración del inventario	104	168
Ventas	98	172
Pronósticos	112	158
Planificación de la demanda	111	159
Administración de las ordenes	104	164
Administración de los catálogos y precios	123	144
Administración de la distribución	100	170
Administración del transporte	114	159
Administración del servicio (post venta)	111	152
Diseño (CAD, CAE)	211	58
Administración de los datos del producto	143	124
Contabilidad general	109	163
Costos de contabilidad	114	160
Presupuestos	131	139
Administración del Recurso Humano	154	116
Administración del mantenimiento	143	126
Administración de los documentos de calidad	179	87
Control de calidad y mejora	164	103
Sistemas de medición del rendimiento	151	116
Administración de proyectos	169	97
Administración del flujo de documentos	144	110
Inteligencia de negocios (query & report, OLAP, data mining)	137	117
Simulación y optimización de la planificación logística y de producción	107	154
Herramientas de equipos de trabajo (ej. Lotus Notes)	160	98
Configuración del producto	124	136

Fuente: Elaboración propia

Al momento existe una baja inserción, mejora y actualización de los programas de apoyo tecnológicos en las empresas analizadas, estos sistemas se han concentrado en los procesos de producción de los productos (diseño, manufactura, calidad) pero pocos se han concentrado a soportar o apoyar la Cadena de Suministros hacia arriba (proveedores) y hacia abajo (clientes). Las áreas de ventas, planeación, distribución, seguimiento y logística son los que presentan menos apoyo de las tecnologías, esto afecta directamente el rendimiento, la relación con los clientes y la calidad de las operaciones dado que son factores cruciales para evaluar la trazabilidad, mostrar transparencia a lo largo de los procesos, garantizar la calidad, retroalimentación y rendimiento de la operación. Al mismo tiempo, las Plantas analizadas evidencian que las organizaciones se han concentrado en apoyar con sistemas las áreas asociadas a diseño, calidad y producción, no obstante, zonas sensitivas como ser la Inteligencia de negocios, Computación en la nube, la autonomía y automatización con la inteligencia artificial y simulación, sistemas inteligentes y autónomos, ciber seguridad, etc. Lo anterior representa un reto para las organizaciones dado que implementar o incrementar la inclusión de la I4.0 no

solo demanda adquisición de equipos, tecnología, conocimiento, sino que inversiones sostenibles y sustentables que complementen y no sustituyan, con un fortalecimiento y ajuste a las demandas de los clientes.

Tabla 2. Estado de los sistemas de identificación y trazabilidad

Identificación y trazabilidad de los productos	1	2	3	4	5
Los sistemas de identificación y trazabilidad de los productos permiten identificar y monitorear los productos desde la producción hasta la entrega	5	13	38	96	128
Los sistemas de identificación y trazabilidad pueden efectivamente identificar y monitorear las materias primas y partes	9	17	60	110	84
Cada lote de productos elaborados por la Planta cuenta con una identificación única	4	10	35	89	142
Cada uno de los proveedores de materia prima o componentes para la Planta son identificados y monitoreados por nuestros sistemas de trazabilidad e identificación de los productos	11	22	53	107	86

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, al analizar el estado de los sistemas de identificación y trazabilidad (principios de la I4.0) se evidencia que las organizaciones están apostando a identificar sus productos, dar seguimiento, garantizar la posición y el cumplimiento de las especificaciones requeridas mediante el uso de sistemas de monitoreo. El 72% de las Plantas logra identificar y dar trazabilidad a sus productos y materias primas desde la producción de insumos hasta la entrega. No obstante, un 27% de las Plantas no está monitoreando sus materias primas y partes, esto genera inconsistencias, inconformidades, altos costos, baja competitividad y sustitución elevada. Las Plantas evidencian sistemas de identificación de lotes aceptables (75% de las Plantas tienen identificación única de sus lotes) esto aporta a la identificación, transparencia, seguimiento y mejora de la calidad a lo largo de la Cadena de suministros. Existe una brecha significativa en cuanto al monitoreo de los proveedores de materia prima, un 28% de las Plantas no tiene control sobre sus materias primas durante el proceso de manipulación, distribución y logística por parte de su proveedor (Ver tabla 3). (Los valores debajo de la escala de Likert representan el número de Plantas por nivel de respuesta)

Sumado a lo anterior y al evaluar el estado de la trazabilidad, los resultados demuestran que no solo los proveedores tienen niveles bajos de tecnologías para monitorear y dar seguimiento a los productos e insumos, los clientes de las Plantas analizadas muestran debilidad en este factor. Solo el 25% de los clientes monitorea el curso de sus cargas, pedidos, productos o servicios. Al mismo tiempo que solo un total de 92 Plantas logran monitorear a sus proveedores mediante sistemas o tecnologías de la información, lo anterior incrementa el reproceso, devoluciones, demoras, desperdicios y calidad de los insumos que serán procesados y dispuestos a lo largo de la Cadena de suministros. (Ver tabla 4) (Los valores debajo de la escala de Likert representan el número de Plantas por nivel de respuesta)

Tabla 3. Estado de la trazabilidad

Tecnologías para la Trazabilidad / Número de plantas	1	2	3	4	5
Nuestros clientes utilizan tecnologías de la información (ej. RFID or PIDTA) para monitorear o expedir cargamentos para nuestra Planta	60	68	67	46	32
Nosotros usamos tecnología de la información (ej. RFID or PIDT) para monitorear o expedir cargamentos para nuestros proveedores clave	57	54	79	61	31

Fuente: Elaboración propia

Se evaluó el rendimiento desde la perspectiva de los administradores de la Cadena de suministro hacia arriba, bajo el argumento de cuál es el nivel de satisfacción con el rendimiento de los informantes clave respecto a los siguientes indicadores. Para ello se consideró una escala de 1 a 5 (1: totalmente en desacuerdo y 5: totalmente de acuerdo) (Los valores debajo de la escala de Likert representan el número de Plantas por nivel de respuesta). Los resultados de la Tabla 5. muestran que los gerentes afirman tener un alto desempeño por parte de sus proveedores, aun y cuando la comunicación y monitoreo mediante tecnologías sea bajo. El rendimiento de los proveedores de la Cadena de suministros se ha centrado en la calidad. Complementariamente, la capacidad de dar respuestas ante cambios inesperados, los certificados de calidad, presentar un buen nivel de servicio y mostrar excelentes habilidades técnicas son factores

de rendimiento visibles en los proveedores y que contribuyen al buen rendimiento de las operaciones de manufactura de las Plantas. Desde la Cadena de suministros de las Plantas analizadas se requiere por parte de los proveedores una mejora en los factores referidos al reconocimiento, uso de prácticas sostenibles, precio y reputación social empresarial. Los proveedores muestran un nivel de adaptación alto en cuanto a cambios en las ordenes, desarrollo de nuevos productos y adaptación de nuevos procesos y productos (Ver Tabla 6).

Tabla 4. Rendimiento de la cadena de suministros

Evaluación de la Cadena de suministros (Hacia arriba)	1	2	3	4	5
Conformación con las especificaciones	0	4	36	157	86
Capacidad de diseño	2	10	63	156	51
Certificaciones medio ambientales	6	13	65	128	72
Entrega rápida	2	12	57	158	55
Entrega a tiempo	1	12	55	144	73
Reconocimiento al rendimiento	16	32	134	71	29
Precio	3	18	84	138	39
Responsabilidad del producto	0	6	45	165	68
Certificaciones de calidad	2	4	44	133	102
Respuesta rápida ante cambios inesperados	1	10	49	165	59
Reputación de Responsabilidad Social Empresarial	5	19	90	129	41
Nivel de Servicio	1	6	43	180	54
Habilidades Técnicas	1	6	35	182	60
Uso de prácticas sostenibles	2	19	92	131	38
Voluntad de adaptar los procesos para satisfacer sus necesidades cambiantes	0	12	69	152	49
Voluntad de adaptar los productos para satisfacer sus necesidades cambiantes	0	11	53	158	61
Voluntad de participar en el desarrollo de nuevos productos de su planta	2	11	44	154	72

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se analizó las posiciones de la Planta con respecto al resto de su sector en términos del Justo a tiempo y los programas del Lean Six Sigma, donde 50 informantes del mismo número de Plantas consideran que su organización es superior a sus competidores. 104 informantes indicaron que algunas prácticas y procesos de JIT/Lean son mejores que el resto. Y 80 informantes detallaron que sus Plantas no se diferencian del resto o tienen una posición superior en torno a esta temática. En torno a la importancia de la existencia de programas Lean Six sigma en la empresa el 38% de las organizaciones desconocen la importancia y el rol que juega para las cadenas de suministro y el rendimiento. Mientras que un 62% reconoce que es importante la existencia de programas sólidos de Lean.

Tabla 5. Estado del Lean/JIT

Posición e importancia de la empresa respecto al LEAN / JIT	1	2	3	4	5
Posición de la planta en cuanto al JIT en comparación con las del resto de su sector	5	17	80	104	50
Importancia a la existencia de programas lean six sigma	9	28	79	93	76

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del modelo

En cuanto a la confiabilidad de las dimensiones y escalas empleadas en el estudio, a continuación, se presentan las estimaciones de consistencia interna (Alpha de Cronbach), AVE, CR y Carga Factorial. Todos los resultados del Alpha de Cronbach's fueron superiores a 0.70 indicando buena consistencia interna de los datos, baja variación con

respecto a la media. La confiabilidad del constructo (confiabilidad compuesta) fue superior a 0.70 indicando un buen ajuste de las variables de cada dimensión con una buena consistencia interna. La validez de convergencia fue evaluada a partir de la varianza media extraída, todos los valores fueron superior de lo recomendado: 0,50.

Las cargas factoriales fueron superiores a 0.60 (Arana-Solares, Ortega-Jiménez, Alfalla-Luque, & Ríos, 2019). Los datos mostrados en la Tabla 2, evidencian que los valores de confiabilidad todos fueron superiores a 0.70, los valores de AVE fueron todos superiores a 0.40. Los valores de CR fueron superiores a 0.70 (mínimo recomendado). Las pruebas de distribución normal de los datos revelan que las tres escalas evidencian una distribución normal.

Tabla 6. Confiabilidad de las escalas por sector

Variable / Dimensión	Electrónica y Maquinaria			
	Carga factorial	Alpha Cronbach	AVE	CR
Industria 4.0		0.699	0.5798	0.887
I1: E-contratos	0.855			
I2: E-ventas	0.426			
I3: E-Herramientas de negocios	0.837			
I4: Justo a tiempo vinculado con los clientes	0.857			
I5: Tecnologías de la información vinculados con los proveedores	0.556			
I6: Identificación y trazabilidad de los productos	0.907			
Cadena de Suministro Lean LSCM		0.700	0.4112	0.806
LSCM1: Equipo	0.669			
LSCM2: Entregas Justo a tiempo por proveedores	0.654			
LSCM3: Kanban	0.539			
LSCM4: Reducción del tiempo de configuración	0.694			
LSCM5: Naturaleza repetitiva del programa de producción	0.611			
LSCM6: Familias de productos	0.668			
Rendimiento de operaciones RM		0.786	0.4957	0.744
RM1: Rendimiento competitivo	0.798			
RM2: Conocimiento del mercado de clientes	0.716			
RM3: Evaluación de la cadena de suministros y evaluación del rendimiento	0.581			

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados en la Tabla 7, muestran un nivel de relación significativo entre las variables independientes y dependientes. Los niveles de correlación fueron superiores a 0.45, a excepción de la relación de LSCM con el RM, dado que este último está explicado por múltiples variables. Los resultados de la prueba de normalidad empleando el estadístico Kolmogorov-Smirnov no fueron significativos ($p=0.20$, $p>0.05$, $gI;191$) indicando una distribución normal de los datos.

Tabla 7. Resultados de las correlaciones entre variables

Escala	Media	Desv. Estándar	I4.0	LCSM	RM
I4.0	3.3009	0.03893	1	0.633**	0.476**
LCSM	3.5207	0.04063		1	0.380**
RM	3.8915	0.03070			1

** La correlación es significativa en el nivel de 0,01 (bilateral)

Fuente: Elaboración propia

Los modelos fueron evaluados empleando dos técnicas, la primera; análisis de regresiones jerárquicas, de manera que se analizaran los cambios en la varianza explicada cuando participa una variable más (modelos 1, 2 y 3), y la segunda instancia, se empleó el modelo de mediación estadística (modelo 4) para evaluar el rol mediador que tiene la I4.0 para mejorar el rendimiento de las Plantas. En cuanto a la evaluación de las hipótesis propuestas en la investigación se efectuó el modelo de regresión jerárquica analizando la inclusión de cada variable independiente al modelo. Ante ello, los resultados conducen a aceptar la *H1* (modelo 1) existe una relación positiva y significativa entre las variables LSCM y RM ($R^2=0.380$; $p<0.05$). Al mismo tiempo la *H2* se acepta debido a que la I4.0 tienen una relación directa y significativa con el Rendimiento de operaciones ($R^2=0.476$; $p<0.05$). (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Resultados del modelo de regresión jerárquica y mediación estadística

Factor	Rendimiento de operaciones			Modelo 4		P
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3			
LSCM	0.299***		0.103**	a	0.6603	0.000
Industria 4.0		0.360***	0.297***	b	0.2970	0.000
LSCM*Industria4.0				c	0.380	0.000
				c'	0.1033	0.1132
				Efecto indirecto	0.1961	(LI: 1 1 3 1 LS:0.2837)
F	31.87***	55.323***	29.152***	126.145***		
R ²	0.380	0.476	0.487	0.430		
R ² ajustado	0.144	0.226	0.237	0.2430		
*** $p<0.05$; ** $p<0.10$						

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la *H3*, esta se acepta producto que al incluir ambas variables (LSCM e I4.0) la varianza explicada aumenta, alcanzando mejores resultados que los modelos 1 y 2. El valor de R^2 fue de 0.487 y significativo ($p<0.005$). Lo anterior soporta lo expresado en la literatura y resalta la importancia de no ver a la I4.0 de forma aislada sino complementaria al LSCM, al mismo tiempo ambas prácticas de manufactura avanzada contribuyen a la mejora del RM. Para corroborar el aporte que tiene la I4.0 en el LSCM se evaluó la *H4* (ver Figura 1) para estimar el efecto mediador en función de lo propuesto por Hayes (2018) y argumentado por Acevedo-Amaya, Ortega-Jiménez, Machuca, & Alfalla-Luque (2020). Los resultados de la prueba de mediación indican que la I4.0 media la relación entre LSCM y RM. El Rendimiento se explica mejor cuando LSCM se complementa con I4.0. Estas afirmaciones resultan de la significación del efecto indirecto, la reducción del valor del efecto directo y su no significancia. Es decir, al introducir la variable mediadora el efecto directo disminuye y es no significativo, indicando con ello, una mediación total (Ver tabla 9). Los resultados inferenciales demuestran que tanto la I4.0 y el LSCM tienen un efecto positivo en el RM de las Plantas en estudio. Al mismo tiempo los resultados soportan las evidencias de la literatura la cual indican que la I4.0 se complementa con el LSCM, permitiendo dicha mediación, mejora en los procesos, aumento de mercado. Cada acción de mejora en la I4.0 afecta directamente el curso del LSCM y por ende el RM.

CONCLUSIONES

Las evidencias empíricas soportan lo expresado en la literatura, la Industria 4.0 es un complemento o apoyo para la Cadena de suministros Lean, mejora sus rendimientos y por ende los rendimientos de manufactura. Al mismo tiempo, las evidencias empíricas muestran el aporte de la Industria 4.0 a la Cadena de suministro y a la mejora del rendimiento de las operaciones. A la vez, los resultados revelan que existe un nivel de dependencia lineal positiva y significativa entre la Industria 4.0 y el Rendimiento operativo de manufactura, así como con la Cadena de suministros lean. La inclusión de cada variable en el modelo resultó ser positiva, incremento el resultado de relación y la varianza explicada, siendo siempre significativos. Al analizar la interacción de la Industria 4.0 en la Cadena de suministros Lean se determina que su rol no es moderador, sino que mediador, es un complemento para aumentar los rendimientos de Cadena de suministros Lean.

Los estudios demostrados en la literatura revelan que la combinación de la Industria 4.0 y el Lean aplicados ambos a la Cadena de suministros inciden en el rendimiento operativo como financiero, permiten una mayor trazabilidad, transparencia, reducción de costos, interacción con proveedores y clientes, así como una mayor conectividad con todos los miembros de la Cadena de suministros hacia arriba y hacia abajo, con menores tasas de desperdicios, tiempos, con productos y servicios cada día más ajustado a las demandas de los clientes.

No obstante, tanto la literatura como las evidencias empíricas denotan que no todas las Plantas tienen niveles altos de implementación de la Industria 4.0, esto debido a factores económicos, estratégicos, sociales y tecnológicos. No obstante, a lo largo del tiempo, las Plantas han empleado sistemas de conexión, monitoreo, transparencia, trazabilidad y seguimiento a sus proveedores y clientes, lo que ha permitido sentar las bases para una implementación por áreas de sistemas y tecnologías de apoyo asociadas a la Industria 4.0. Los resultados muestran un efecto positivo y significativo de ambas variables (I4.0 y LSCM) sobre el Rendimiento de operaciones de manufactura. Los resultados de la mediación estadística revelan que la Industria 4.0 no tiene un efecto interviniente sino mediador, contribuye a la mejora más no determina la mejora de los procesos y el rendimiento de operaciones de manufactura, convirtiéndose en un aliado de prácticas como el Lean para controlar desperdicios, tiempos, costos, acelerar la detección de errores y reorientar los programas con la tecnología para la toma de decisiones ajustada a los clientes y en tiempos menores. Esto permite a las empresas que sean más ágiles, adaptables y flexibles a los cambios que se generen hacia arriba de las cadenas (proveedores) y hacia abajo (clientes).

La contribución del documento se centra en validar mediante evidencias empíricas que la Industria 4.0 no es sustituto del Lean, sino que provee herramientas, tecnologías y prácticas que aceleran y mejoran los niveles de confiabilidad de los rendimientos del Lean. A su vez, la contribución del documento recae la estimación de la magnitud que alcanzar las variables cuando aportan o inciden en el Rendimiento de operaciones de manufactura. En cuanto a las limitaciones del estudio, dado que las evidencias empíricas son de carácter exploratorio, se imposibilita la generalización. El documento centra la construcción de las escalas en torno a las variables determinadas por el Proyecto HPM, y la determinación del estado de la Industria 4.0 se limita al mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, M. R., Ortega-Jiménez, C. H., Machuca, J. A., & Alfalla-Luque, R. (2020). Industry 4.0: current trend and future scope for further research in High Performance Manufacturing. *XVIII LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology* (págs. 1-10). LACCEI.
- Arana-Solares, I. A., Ortega-Jiménez, C. H., Alfalla-Luque, R., & Ríos, J. L.-D. (2019). Contextual factors intervening in the manufacturing strategy and technology management-performance relationship. *International Journal of Production Economics*, 207(1), 81-95.
- Bougdira, A., Akharraz, I., & Ahaitouf, A. (2019). A traceability proposal for industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(1), 3355-3369.
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Frazzon, E. M., Rodriguez, C. M., Pereira, M. M., Pires, M. C., & Uhlmann, I. (2019). Towards Supply Chain Management 4.0. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(1), 180-191.
- García-Buendía, N., Moyano-Fuentes, J., & Maqueira-Marín, J. M. (2021). Lean supply chain management and performance relationships: what has been done and what is left to do. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 405-423.
- Jasti, N. V., & Kodali, R. (2015). A critical review of lean supply chain management frameworks: proposed framework. *Production Planning & Control*, 26(13), 1051-1068.
- Khorasani, S. T., Cross, J., & Maghazei, O. (2020). Lean supply chain management in healthcare: a systematic review and meta-study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(1), 1-34.
- Lin, B., Wu, W., & Song, M. (2019). Industry 4.0: driving factors and impacts on firm's performance: an empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*, 1-21.

- Mubarik, M. S., Naghavi, N., Mubarik, M., Kusi-Sarpong, S., Khan, S. A., Zaman, S. I., & Kazmi, S. H. (2021). Resilience and cleaner production in industry 4.0: Role of supply chain mapping and visibility. *Journal of Cleaner Production*, 292(126058).
- Núñez-Merino, M., Maqueira-Marín, J. M., Moyano-Fuentes, J., & Martínez-Jurado, P. J. (2020). Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain management: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(16), 5034-5061.
- Ohno, T., & Bodek, N. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press.
- Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation. *The International Journal of Logistics Management*, 32(4), 1150-1189.
- Salam, M. A. (2019). Analyzing manufacturing strategies and Industry 4.0 supplier performance relationships from a resource-based perspective. Benchmarking: *An International Journal*, 1463-5771.
- Silva, J. F., Silva, F. L., Silva, D. O., Rocha, L. A., & Ritter, Á. M. (2022). Decision making in the process of choosing and deploying industry 4.0 technologies. *Gestão & Produção*.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182.
- Tascón, D. C., Mejía, G., & Rojas-Sánchez, D. (2022). Flexibility of operations in developing countries with Industry 4.0. A systematic review of literature. *Advances in Production Research*, 32(1)
- Taghavi, V., & Beauregard, Y. (2020). The Relationship between Lean and Industry 4.0: Literature Review. 5th North American Conference on Industrial Engineering and Operations Management in Detroit, Michigan, USA during August 10-14, 2020 (págs. 808-820). Michigan, USA: IEOM Society International.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.