

Jorge Luis García Alcaraz

Efecto de la manufactura esbelta,
seis sigma y cadena de suministro
en la sostenibilidad de
maquiladoras mexicanas

Director/es

Jiménez Macías, Emilio
Javierre Lardies, Carlos Francisco

EXTRACTO

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

El presente documento es un extracto de la tesis original depositada en el Archivo Universitario.

En cumplimiento del artículo 14.6 del Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado, los autores que puedan verse afectados por alguna de las excepciones contempladas en la normativa citada deberán solicitar explícitamente la no publicación del contenido íntegro de su tesis doctoral en el repositorio de la Universidad de Zaragoza. Las situaciones excepcionales contempladas son:

- Que la tesis se haya desarrollado en los términos de un convenio de confidencialidad con una o más empresas o instituciones.
- Que la tesis recoja resultados susceptibles de ser patentados.
- Alguna otra circunstancia legal que impida su difusión completa en abierto.



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctoral [Extracto]

**EFFECTO DE LA MANUFACTURA ESBELTA, SEIS
SIGMA Y CADENA DE SUMINISTRO EN LA
SOSTENIBILIDAD DE MAQUILADORAS
MEXICANAS**

Autor

Jorge Luis García Alcaraz

Director/es

Jiménez Macías, Emilio
Javierre Lardies, Carlos Francisco

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

Programa de Doctorado en Ingeniería Mecánica

2022

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA



**Universidad
Zaragoza**

ESCUELA DE DOCTORADO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis Doctoral en

Ingeniería Mecánica

Efecto de la manufactura esbelta, seis sigma y cadena de suministro en la sostenibilidad de maquiladoras mexicanas

Autor

Jorge Luis García Alcaraz

Directores:

Dr. Emilio Jiménez Macías

Dr. Carlos Francisco Javierre Lardies

Zaragoza, España – 2021

La memoria de esta tesis se presenta en la modalidad de compendio de trabajos publicados en revistas científicas internacionales con revisión por pares e indexadas en Journal Citations Reports (JCR). Los trabajos publicados se indican a continuación:

Artículo 1. García-Alcaraz, J. L., Montalvo, F. J. F., Avelar-Sosa, L., Pérez de la Parte, M. M., Blanco-Fernández, J., & Jiménez-Macías, E. (2020). The importance of access to information and knowledge coordination on quality and economic benefits obtained from Six Sigma. *Wireless Networks*, 26(8), 5713-5726. doi:10.1007/s11276-019-02180-7. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q2 o Q3, según la categoría en la que sea analizada, con IF de 2.602 y con JIF de 53.66.

Artículo 2. García-Alcaraz, J. L., Martínez-Hernández, F. A., Olguín-Tiznado, J. E. O., Realyvasquez-Vargas, A., Jiménez Macías, E., & Javierre-Lardies, C. (2021). Effect of quality lean manufacturing tools on commercial benefits gained by Mexican maquiladoras. *Mathematics*, 9(9). doi:10.3390/math9090971. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q1 en la categoría de Mathematics (24/330) en el JCR 2020, con IF de 2.258 y con JIF de 92.88.

Artículo 3. García-Alcaraz, J.L., Díaz Reza, J.R., Sánchez Ramírez, C., Limón Romero, J., Jiménez Macías, E., Lardies, C. J., & Rodríguez Medina, M. A. (2021). Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). doi:10.3390/su131910599. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q2 o Q3 según la categoría en la que se analice en el JCR 2020, con un IF de 3.251.

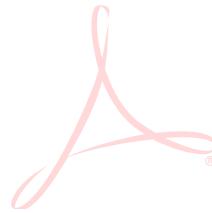
Artículo 4. García-Alcaraz, J. L., Díaz-Reza, J. R., Flor Montalvo, F. J., Jiménez-Macías, E., Blanco-Fernández, J., & Javierre Lardies, C. F. (2021). Effects of information sharing, decision synchronization and goal congruence on SC performance. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107744. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107744. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q1 o Q2 según la categoría en la que se analice en el JCR 2020, con un IF de 5.431.

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE TESIS A PRESENTAR LA TESIS DOCTORAL EN MODALIDAD DE "COMPENDIO DE PUBLICACIONES":

VºBº Directores de Tesis



Fdo.: Emilio Jiménez Macías



Fdo.: Carlos Francisco Javierre Lardies

Dedicatoria

El ser humano se inspira siempre en algo cuando se ha fijado un objetivo. En este caso, mi inspiración se encuentra en mi familia, por lo que quiero dedicar este trabajo a las siguientes personas:

- A mis hijos *Jorge Andrés y Mariana Odette* por enseñarme a ser un padre y permitirme ver en sus ojos la inocencia que se ha convertido en mi razón de vivir. Dos paros respiratorios, 42 días hospitalizado por COVID con 21 días intubado y además con dos infecciones tomadas en el hospital, no son y ni serán suficientes para separarme de ustedes. Gracias, hijos por enseñarme que el amor es infinito. Sin la imagen de sus recuerdos me hubiera rendido, tal como muchos lo hicieron.
- A mi esposa *Ana Blanca Rodríguez-Rendón*, por el apoyo en mis proyectos y ayudarme a formar una familia.
- A mis padres, viejos lindos, verdaderos guías y maestros de mi vida, y quienes, con el ejemplo y pocas palabras, me han formado con principios y valores.
- A mis hermanos y hermanas de sangre, ya que los verdaderos aprendizajes y valores los obtuve con ellos en casa.
- A todos aquellos integrantes de la familia que siempre han formado parte de mi vida.
- A mis hermanos fraternales, que estuvieron ahí cuando los requerí en la lucha por mi vida.

Jorge Luis García Alcaraz

Agradecimientos

En cada uno de los proyectos que el hombre inicia y culmina, siempre requiere del apoyo y ayuda de terceras personas y en mi caso no es la excepción. Deseo agradecer especialmente a las siguientes:

- A Dios, por todo.
- A mis padres, verdaderos maestros de mi vida, quienes no requirieron una universidad para inculcarme los verdaderos principios y valores que me han formado.
- A mis directores de tesis, Dr. Carlos Francisco Javierre Lardies de la Universidad de Zaragoza y Dr. Emilio Jiménez Macías de la Universidad de La Rioja, quienes no solamente han sido mis mentores, sino que con orgullo puedo decir que son mis amigos.
- A todos mis amigos y compañeros de trabajo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en México y muy especialmente a mi grupo de investigación DEOPS, así como a los integrantes de la Red Temática de Optimización de Procesos Industriales constituida por colegas universidades de México, Colombia, Chile, Alemania, España, Holanda, Noruega, Irán, Emiratos Árabes Unidos, entre otras.
- A mis alumnos en todos los niveles educativos, quien han confiado en mí su formación académica, especialmente al grupo de los COMPAS.

A todos ellos, mil gracias. Sin su apoyo no lo hubiera logrado.

¡Vivan los golfos!

Justificación y Contexto de la Investigación

En el año 2014, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT, www.conacyt.mx) otorgó financiamiento para la creación de la Red Temática de Optimización de Procesos Industrial (ROPRIN, www.roprin.org), la cual se enfoca en la integración y colaboración de investigadores de diferentes países. Actualmente la ROPRIN cuenta con integrantes de México, España, Colombia, Alemania, Noruega, Chile, Irán, Emiratos Árabes Unidos y Holanda. El objetivo de esta red es incrementar la internacionalización de los programas de posgrado en los que participan sus integrantes, así como la consolidación científica de sus investigadores.

Esa red fue financiada nuevamente para su continuación operativa en el año de 2016 y el año 2018, estando actualmente activa y con producción académica y científica entre los investigadores participantes. Entre las instituciones participantes en España se encuentra la Universidad de La Rioja, Universidad de Zaragoza, Universidad Pública de Navarra, Universidad de Murcia, Universidad Carlos III de Madrid, entre otras.

Mas específicamente, desde el año 2014, yo Jorge Luis García Alcaraz, he tenido una colaboración académica con varios colaboradores de instituciones españolas, la cual se ha visto reflejada en documentos publicados de maneja conjunta; por ejemplo, con el Dr. Emilio Jiménez Macías (38 documentos), Dr. Julio Blanco Fernández (44 documentos) y Juan Carlos Sáenz Diez-Muro (8 documentos) de la Universidad de La Rioja; con el Dr. Carlos Francisco Javierre Lardiés (4 documentos) y José María Moreno Jiménez (3 documentos) de la Universidad de Zaragoza y con el Dr. Juan Ignacio Latorre Biel (8 documentos) de la Universidad Pública de Navarra. La producción académica conjunta puede ser constatada en Scopus o por las patentes registradas ante la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Esos documentos que se informan anteriormente se refieren a artículos, memorias de congresos y capítulos de libro que se han generado de estudiar técnicas y metodologías aplicadas a la industria maquiladora mexicana, tales como manufactura esbelta y seis sigma; es decir, enfocadas a la eliminación de desperdicio y garantizar la calidad de los productos generados. Sin embargo, también han existido libros en los que he participado como autor o editor, donde los colegas antes mencionados han participado escribiendo los prólogos y presentaciones de éstos.

Las investigaciones que en lo particular he realizado con los colegas de universidades españolas se han enfocado a modelar los sistemas productivos propios de la Industria Maquiladora de Ciudad Juárez, así como de análisis de ciclo de vida de procesos industriales del vino de La Rioja. Sin embargo, este último es un tópico en el cual se tiene planeado incursionar en el area de la industria maquiladora mexicana, donde existen normativas y regulaciones ambientales, pero se desconoce el impacto que generan sus procesos productivos.

Los artículos que se presentan en esta tesis para obtener el grado de Doctor en Mecánica por la Universidad de Zaragoza han abordado modelos causales para relacionar la implementación de manufactura esbelta y seis sigma en la industria maquiladora, y su impacto en la sustentabilidad económica y representan una primera etapa diagnóstica requerida, la cual se ha realizado en colaboración. Los artículos presentan modelos que analizan algún tipo de herramientas y sus niveles de implementación como variables independientes, tales como la calidad de los productos, los desperdicios, evitar rechazos, mientras que la sustentabilidad económica obtenida ha sido una variable dependiente.

Sin embargo, aún se tienen artículos terminados y enviados a alguna revista para su revisión, y en los cuales participa el Dr. Javierre Lardiés y el Dr. Emilio Jiménez Macías. Dichos artículos se caracterizan por integrar no solo la sustentabilidad económica, sino que incluyen la sustentabilidad ambiental y sociales como uno de sus predecesores. Los nombres de algunos artículos enviados a revisión son los siguientes:

- ESPR-D21-10790. Effect of lean manufacturing tools on social, environmental, and economic performance sustainability. Environmental Science and Pollution Research.
- JAMT-S-05587. Machinery-associated lean manufacturing tools and their effect on sustainability. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- EMAS-D-21-04360. Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies. Environmental Monitoring and Assessment.

De la misma manera, en futuros trabajos que se realicen de manera colaborativa se buscará aplicar técnicas de análisis de ciclo de vida a los procesos productivos para conocer su impacto ambiental, análisis del coste de ciclo de vida, análisis de ciclo de vida social, entre otros. Sin duda que los productos generados de esos trabajos de investigación fortalecen y fortalecerán los niveles de vinculación entre los autores, nuestras instituciones de adscripción, se fomenta la colaboración en proyectos de investigación que se realizan y de los posgrados que en ellas se ofertan y permiten unificar esfuerzos en el mejoramiento de procesos industriales y su impacto ambiental.

Contenido

Lista de Figuras	3
Lista de Tablas	3
Resumen	4
Abstract.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 La globalización comercial y productiva.....	6
1.2 El fenómeno de la industria maquiladora	7
1.3 La importancia de la industria maquiladora.....	8
1.4 Manufactura esbelta (ME)	9
1.5 Cadena de suministro (CS).....	13
1.6 La relación entre ME y sustentabilidad	16
1.7 ME en la industria maquiladora.....	18
1.7.1 Herramientas de soporte	18
1.7.2 Herramientas de calidad.....	18
1.7.3 Herramientas de flujo de materiales	19
1.8 Problema de investigación	19
1.9 Objetivo de investigación	21
1.10 Hipótesis general.....	21
2. Metodología	22
2.1 Elaboración del cuestionario	22
2.2 Aplicación del cuestionario	23
2.3 Obtención de la información y depuración.....	23
2.4 Análisis descriptivo de la muestra y los ítems.....	23
2.5 Validación de las variables latentes.....	24
2.6 Modelo de ecuaciones estructurales (MEE)	25
2.6.1 Efectos directos	26
2.6.2 Efectos indirectos.....	26
2.6.3 Efectos totales.....	27
2.6.4 Los tamaños de los efectos	27
2.6.5 Análisis de sensibilidad	27
3. Descripción de los artículos publicados	28
3.2 Artículo 1. The importance of access to information and	29

3.3 Artículo 2. Effect of quality lean manufacturing tools on commercial	31
3.4 Artículo 3. Lean manufacturing tools applied to material flow	33
3.5 Artículo 4. Effects of Information Sharing, Decision Synchronization	35
4. Conclusiones generales.....	38
5. Trabajos en curso y futuros	40
5.1 Trabajos realizados o en curso	40
5.2 Trabajos futuros	44
Referencias	45
Anexos. Artículos	55

Lista de Figuras

Figura 1.1 La casa de ME y sus herramientas	10
Figura 1.2 Tendencia de ME	11
Figura 1.3 Instituciones más productivas en ME	12
Figura 1.4 Publicaciones sobre desempeño de la cadena de suministros	14
Figura 1.5 Principales instituciones que publican sobre desempeño de la CS	15
Figura 1.6 Hipótesis general	21
Figura 3.1 Factor de impacto de Wireless Networks	29
Figura 3.2 Factor de impacto de Mathematics	32
Figura 3.3 Factor de impacto de Sustainability	34
Figura 3.4 Factor de impacto de Computers and Industrial Engineering	36
Figura 5.1 Modelo propuesto - ESPR-D21-10790	40
Figura 5.2 Modelo propuesto - JAMT-S-05587	42
Figura 5.3 Modelo propuesto - EMAS-D-21-04360	43

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Autores que más producen en ME	12
Tabla 1.2 Autores que más producen en desempeño de la CS	15
Tabla 1.3 Artículos científicos sobre herramientas de ME aplicadas a la IM	20

Efecto de la manufactura esbelta, seis sigma y cadena de suministro en la sostenibilidad de maquiladoras mexicanas

Resumen

En México existen actualmente 5191 empresas maquiladoras, de las cuales 327 se encuentran establecidas en Ciudad Juárez. En el proceso de producción de esas industrias se emplean herramientas y metodologías como manufactura esbelta y seis sigma para eliminar desperdicios y mejorar la calidad de los productos; sin embargo, no se conoce la relación que éstas tienen con la sustentabilidad obtenida. Esta tesis reporta cuatro artículos en los que se relacionan diferentes herramientas de manufactura esbelta y seis sigma con la sustentabilidad en base a información empírica obtenida de la industria maquiladora mediante la aplicación de encuestas a ingenieros y gerentes responsables de sistemas de producción y cadenas de suministro. La relación entre las variables se valida usando modelos de ecuaciones estructurales basados en mínimos cuadrados parciales, lo que permite cuantificar la dependencia entre éstas. Los resultados indican que las herramientas de manufactura esbelta que dan soporte a la calidad de productos y procesos industriales, así como aquellas que se enfocan en garantizar el flujo de material a lo largo del sistema de producción en la industria maquiladora mexicana, son un antecedente de la sustentabilidad, sobre todo la económica. También, debido a la complejidad y globalización de la cadena de suministro, la sincronización de esta y el flujo de información garantizan su desempeño.

Palabras clave: manufactura esbelta, seis sigma, desempeño económico, desperdicios, calidad.

Effect of lean manufacturing, six sigma and supply chain on Mexican maquiladora sustainability

Abstract

There are currently 5191 maquiladora companies in Mexico, and 327 are located in Ciudad Juarez. In the production process of these industries, tools and methodologies such as lean manufacturing and six sigma are used to eliminate waste and improve product quality; however, the relationship they have with the sustainability obtained is not known. This thesis reports four articles in which different lean manufacturing and six sigma tools are related to sustainability based on empirical information obtained from the maquiladora industry through surveys to engineers and managers responsible for production systems and supply chains. The relationship between variables is validated using structural equation modeling based on partial least squares, which quantifies the dependence between them. Findings indicate that lean manufacturing tools that support the quality of products and industrial processes and those that focus on guaranteeing the flow of material throughout the production system in the Mexican maquiladora industry are an antecedent of sustainability, especially economic sustainability. Also, due to the complexity and globalization of the supply chain, its synchronization and the flow of information guarantee its performance.

Keywords: lean manufacturing, six sigma, economic performance, waste, quality.

1. Introducción

1.1 La globalización comercial y productiva

La sociedad cada vez requiere de mayor cantidad de productos y servicios, y muy pocas veces los países pueden tener los suficientes recursos naturales para transformarlos y satisfacer a su población. Actualmente, los países tienen una alta dependencia unos de otros, ya que se proveen mutuamente de esos recursos de los cuales el otro escasea. Así pues, se tiene un alto flujo de materias primas y productos terminados e información entre diferentes compradores y proveedores establecidos alrededor del mundo.

Sethi, Chakrabarti, y Bhattacharjee (2020) definen la globalización como un “fenómeno basado en el aumento continuo de la interconexión entre las diferentes naciones del mundo en el plano económico, político, social y tecnológico”. Por lo anterior, se concluye que existen países que serán proveedores de algún servicio o bien material, pero serán compradores de otros y eso incrementa el flujo de información, recursos financieros y mercancías en ambos sentidos. Actualmente, con el fenómeno de la globalización es posible que las materias primas requeridas para un producto provengan de diferentes países, sean procesados y ensamblados en otro y finalmente, consumidos en otro distinto (Tomasic & Xiong, 2016; Wu, 2011).

Las ventajas que tiene el fenómeno de la globalización se ven reflejados en varios aspectos, principalmente el económico, ya que como se mencionó anteriormente, es posible que muchos países no sean capaces de generar todos los productos que requieren su sociedad, y producirlos en su propio territorio y con sus propios recursos sería muy caro o de baja calidad, por lo que la mejor opción es importarlos. Lo anterior incrementa las inversiones extranjeras de un país en otro, el intercambio comercial y se propician adecuadas relaciones entre los países. Sin embargo, aunado a los beneficios del intercambio comercial, también se propicia el intercambio cultural y tecnológico entre ambos (Kushneryk, 2012).

La globalización busca hacer un uso adecuado y óptimo de los recursos existentes en diferentes países. Por ejemplo, la alta disponibilidad de cobre que hay en Chile le da una ventaja competitiva en ese mercado; sin embargo, países como China y Estados Unidos de América son sus principales compradores, quienes lo integran en muchos productos electrónicos. De la misma manera, el petróleo existente en ciertos países es comprado como una fuente de energía por otros, tal como ocurre con el petróleo producido en Irán que es consumido en China.

En conclusión, se puede mencionar que todos los países se vuelven proveedores y compradores de algún producto o servicio, lo que globaliza el comercio y que trae como consecuencia el flujo de información, materias primas y productos, así como de recursos financieros por el pago de estos.

1.2 El fenómeno de la industria maquiladora

Como un fenómeno de la globalización, es posible que un proveedor se encuentra en un país, el fabricante y consumidor en otro, Por lo que se busca minimizar la distancia entre cliente y fabricante. Es decir, con la finalidad de ser más competitivas, las empresas transnacionales buscan estrategias que les permitan tener una mayor cercanía con los clientes. Una de esas estrategias es establecer empresas filiales en las que se realizan operaciones con alto nivel de requerimiento de mano de obra. Muchas empresas de este tipo se han establecido en México, dada la cercanía que tiene con los Estados Unidos de América y Canadá, considerados uno de los principales mercados del mundo (Donders & Barriocanal, 2020; Thekkekara & Thiagarajan, 2019).

Esas empresas filiales son llamadas maquiladoras y tienen sus oficinas centrales en otros países, por lo que a México llegan materias primas importadas que deben ser procesadas, manufacturadas y exportadas a los países clientes como un producto terminado (García, Rivera, Blanco, Jiménez, & Martínez, 2014). Las maquiladoras que realizan estas prácticas obtienen varios beneficios, entre los que se pueden mencionar el bajo costo de la mano de obra y su alto nivel de tecnificación, las tarifas arancelarias preferenciales que existen entre México, Estados Unidos de América y Canadá debido a la firma del tratado de libre comercio, cercanía con los clientes finales y rapidez de respuesta a los mismos (Díaz-Reza, García-Alcaraz, Mendoza-Fong, Maldonado-Macías, & Sánchez-Ramírez, 2020).

Aunque esas empresas maquiladoras están distribuidas a lo largo de todo el país, la mayoría de ellas está establecida en ciudades fronterizas con Estados Unidos de América, lo que favorece la cercanía con dicho país y se tienen expertos en procedimientos aduanales (Munguía et al., 2018). Los estados fronterizos mexicanos en los que más existen maquiladoras son Chihuahua, Baja California, Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, representando el 65% del total nacional en los 32 estados (IMMEX, 2021b).

Actualmente en México existen 5191 empresas maquiladoras a nivel nacional, de las cuales 490 están ubicadas en el estado de Chihuahua y específicamente, 327 se encuentran establecidas en Ciudad Juárez, mismas que están distribuidas en 22 parques y 16 zonas industriales, lo que representa el 6.3% del total nacional y el 66.7% del total estatal (IMMEX, 2021a).

Con la llegada de esas empresas a México, también llega muchas tecnologías de alto nivel tecnológico que son aplicadas al proceso de manufactura, las cuales pueden ser duras o blandas. Las tecnologías duras se refieren a maquinaria y equipo físico requerido para el proceso de transformación de la materia prima, tales como máquinas CNC, robots industriales, entre otros. Por su parte, las tecnologías blandas se refieren a metodologías, software y procedimientos que son aplicados al proceso de producción pero que no son físicamente visibles.

Algunas de esas tecnologías blandas son procedimientos como manufactura esbelta (ME) y seis sigma (SS), las cuales generan una serie de beneficios para las empresas y son el objeto principal de estudio en esta tesis, por lo que en secciones posteriores se hará una mayor descripción de estas.

1.3 La importancia de la industria maquiladora

La importancia de la industria maquiladora puede analizarse desde diferentes perspectivas, tales como la social, lo económico y ambiental, por mencionar solamente algunas de ellas. Por ejemplo, en el ámbito social este sector da empleo directo a 2,743,522 personas a nivel nacional, pero en el estado de Chihuahua ese número fue de 487,763, lo que representa el 17.77% del total nacional. Mas específicamente, en Ciudad Juárez, la industria maquiladora empleó a 323478 personas de manera directa, lo que representa el 11.79% del total nacional, pero el 66.32% del total en el estado. Así pues, la industria maquiladora es la principal actividad económica en Ciudad Juárez y muestra una tendencia incremental en comparación al año anterior (IMMEX, 2021b).

De la misma manera, esas empresas maquiladoras establecidas en Ciudad Juárez pagaron un total de 4,170.4 millones de pesos mexicanos por concepto de salario en el periodo de enero a mayo de 2021; además, ese sector también contribuyó con 3,666 millones de pesos mexicanos a la seguridad social de los trabajadores. En base a lo anterior, se concluye que el sector maquilador es importante desde un punto de vista social.

Desde un punto de vista económico, la industria maquiladora importó para el periodo de enero a mayo de 2021 un total de 102,263 millones de dólares en materia primas y consumibles a nivel nacional, pero el estado de Chihuahua lo hizo por 12,272 millones de dólares (12% del total nacional) y más específicamente, Ciudad Juárez lo hizo por 9,715 millones de dólares (79.16% del total estatal y 9.5% del total nacional), lo que indica el alto flujo de entrada de materias primas para ese sector.

Sin embargo, esa cifra no es completa si no se analizan las exportaciones realizadas como productos terminados para ese mismo periodo, donde a nivel nacional se tuvieron exportaciones por 124,969 millones de dólares, lo que representa un superávit de 22,706 millones de dólares para ese sector. A nivel estatal, Chihuahua exportó 14,996 millones de dólares en ese mismo periodo, lo que representa el 12% del total nacional y reporta un superávit de 2724 millones de dólares. Finalmente, Ciudad Juárez exportó un total de 11,872 millones de dólares, lo que representa el 79.16% del total estatal y el 9.5% del total nacional (IMMEX, 2021d).

Desde un punto de vista ambiental, considerando solamente las actividades logísticas de operaciones de importación y exportación y excluyendo las operaciones de producción, esas entradas de materias primas y salidas de productos terminados representan un flujo de materiales a través de los puentes fronterizos de Ciudad Juárez que generan contaminantes. Por ejemplo, en el periodo de enero a junio de 2021 por el puente Santa Teresa cruzaron 47,586 camiones llenos y 29,261 vacíos, mientras que por

el puente Zaragoza cruzaron en ese mismo periodo 31,294 camiones con carga y 55,668 camiones vacíos (IMMEX, 2021c).

1.4 Manufactura esbelta (ME)

La ME, frecuentemente denominado sistema de producción Toyota, es definido como una filosofía práctica enfocada a la mejora continua de los sistemas productivos mediante la integración de los recursos humanos para la optimización de materiales y la disminución de desperdicios (Primo, DuBois, de Oliveira, Amaro, & Moser, 2021). Algunos otros autores como Mercado et al. (2021) consideran a la ME como un sistema de gestión de los recursos, ya que en su opinión, son los gerentes e ingenieros con responsabilidades de toma de decisiones las que la dirigen y son los empleados quienes la aplican.

Aunque la ME tiene su origen en Japón, fue a través del libro de Womack, Jones, y Ross (2017) "La máquina que cambió el mundo" que llega a principios de los 90 a occidente, donde se explican conceptos combinados eficiencia, flexibilidad y calidad de manera simultánea. Los principales beneficios de la aplicación de la ME son los siguientes (Islam, 2019; S. Singh et al., 2018):

1. Mejora el uso de los recursos, ya que su objetivo es la reducción de desperdicios y defectos en el sistema productivo.
2. Mejora la productividad mediante el incremento de la eficacia, lo que da por resultado que se obtengan productos con la misma inversión.
3. Los plazos de ejecución de los planes y programas de producción son disminuidos, lo que implica mayor capacidad productiva con la misma cantidad de recursos y máquinas disponibles o instaladas.
4. Mejora el servicio al cliente, ya que facilita que éste reciba el producto en el momento tiempo y lugar en que se haya acordado.
5. Se obtiene una limpieza en los procesos de producción, transporte, inventarios y control de calidad.
6. Se mejora significativamente la calidad del producto terminado, lo que a su vez conlleva a una reducción del costo de producción.

Para lograr lo anterior, la ME como sistema de gestión de recursos o como filosofía de producción, hace uso de una serie de herramientas que integra en lo que tradicionalmente se conoce como la "casa de manufactura esbelta" y que se ilustra en la Figura 1.1 (Mostafa, Lee, Dumrak, Chileshe, & Soltan, 2015). Se podría decir que ME consiste en herramientas base, tales como 5S, la fábrica visual y andon, la administración de la seguridad e higiene, el mantenimiento preventivo total para las máquinas y herramientas, Kaizen como programa de mejoramiento continuo y SS para el aseguramiento de la calidad (Widiasih, Karningsih, & Ciptomulyono, 2015; Yu, Tweed, Al-Hussein, & Nasser, 2009).

Sobre esta base existen tres pilares principales de herramientas. El primer pilar está asociado al flujo de la producción a lo largo de todo el sistema, donde aparecen Justo a

tiempo, flujo de una sola pieza, sistemas de producción de empuje, cambios rápidos, sistemas de tarjetas como Kanban, reducción y eliminación del tiempo de trabajo, así como de desperdicios (J. Singh, Gandhi, & Singh, 2020; Verrier, Rose, & Caillaud, 2016).



Figura 1.1 La casa de ME y sus herramientas

El segundo pilar está enfocado en garantizar la calidad y evitar los defectos en los productos. Las herramientas en este pilar se asocian con poka-yoke, la calidad en la fuente o lugar en el que se genera el producto, instrucciones de trabajo estandarizado para que cualquiera pueda realizarlo, mapeo de cadena de valor para identificar áreas de oportunidad y mapeo de proceso de valor para identificar situación actual y futura. Este pilar es muy importante dado que establece los parámetros bajo los cuales funciona el sistema productivo y a los cuales se desea trabajar después de implementados los procesos de mejoramiento continuo (Kovach, Stringfellow, Turner, & Cho, 2005; Lazarevic, Mandic, Sremcev, Vukelic, & Debevec, 2019).

El tercer y último pilar se asocia con la distribución que tienen las máquinas y herramientas dentro del proceso productivo. Las herramientas más importantes son la manufactura celular y tecnologías de grupos, producción por lotes, la generación de áreas de trabajo multifuncionales y la programación y planeación de la producción en un solo punto (Jahangir, Hasin, & Bashar, 2020; Khalfallah & Lakhal, 2021).

Esas herramientas contenidas en la base de la casa para la ME y sus tres pilares están enfocadas en generar indicadores clave del desempeño de la empresa como entre

las cuales se puede mencionar la mejor calidad, el enfoque al cliente, bajo costo, tiempo de entrega corto entre fabricante y cliente, planes financieros a largo plazo y disminución del tiempo ocioso en máquinas y herramientas.

La aplicación de ME es ampliamente reportada en la literatura, así como sus beneficios. Una búsqueda en Scopus con las siguientes palabras clave en el título del documento genera un total de 1,440 resultados hasta la fecha del día de hoy (17 de octubre de 2021): TITLE ("lean manufacturing") OR TITLE ("Lean Manufacturing") OR TITLE ("LEAN MANUFACTURING").

Un análisis bibliométrico de ese tópico hasta el año 2020 (se excluyen 106 documentos de 2021 y 2022 dado que aún no culminan) y se observa que la producción de documentos va en aumento, tal como se ilustra en la Figura 1.2. Se observa que el primer documento fue generado en 1993 y que el ajuste exponencial (línea roja y punteada) es adecuado. Incluso, hoy en día, para el año 2021 ya se tienen 103 documentos. Esa tendencia indica que la ME es de gran interés para académicos e investigadores.

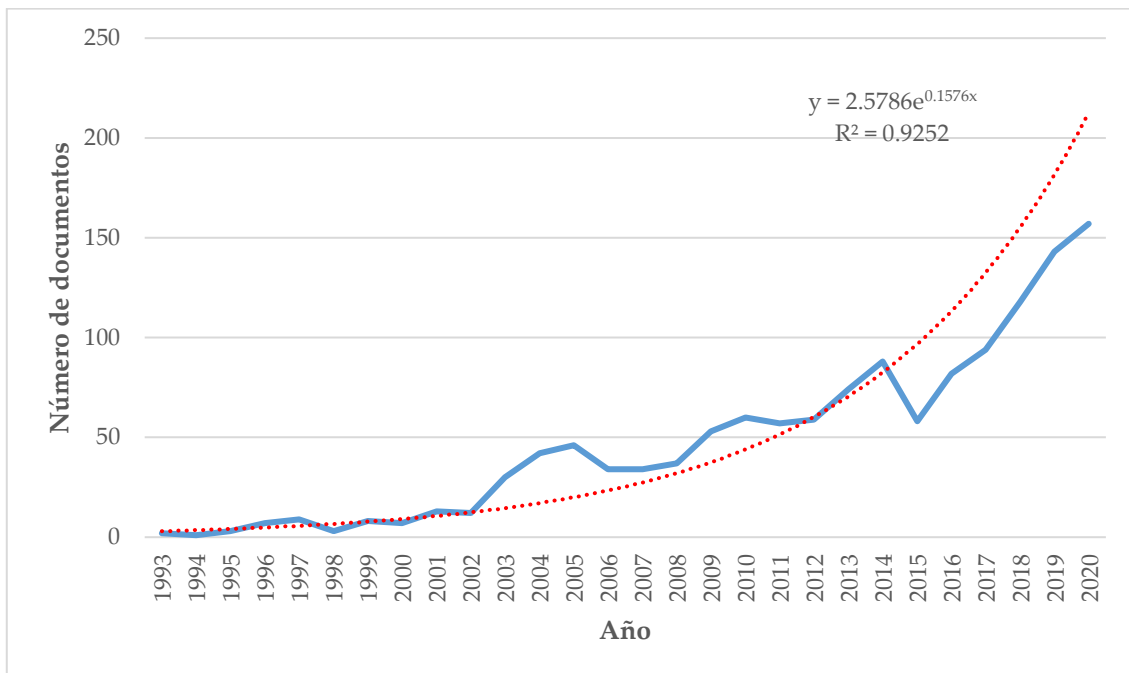


Figura 1.2 Tendencia de ME

Una lista de los países que más publican sobre este tópico coloca a Estados Unidos de América, India, Italia y Brasil como los países más sobresalientes. Sin embargo, es importante señalar que países latinoamericanos como Brasil, Perú, España y México están dentro de los primeros diez de la lista.

También es importante observar que en la actualidad existen varias revistas especializadas en este tópico, así como conferencias y congresos internacionales, entre los que se puede mencionar a los siguientes: IOP Conference Series Materials Science and Engineering, International Journal of Lean Six Sigma, SAE Technical Papers,

Advances in Intelligent Systems and Computing, International Journal of Production Research, Quality Access to Success, Journal of Manufacturing Technology Management, International Journal of Services and Operations Management, Lecture Notes in Mechanical Engineering, IFIP Advances in Information and Communication Technology y Production Planning and Control.

De la misma manera, cuando se analizan los principales centros o grupos de investigación, se observa que muchos de ellos son latinoamericanos y la Figura 1.3 ilustra una distribución de estos. En este caso, para fines comparativos se presenta a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en la onceava posición, pero está posicionada en el lugar número 14, con empate con otras universidades.

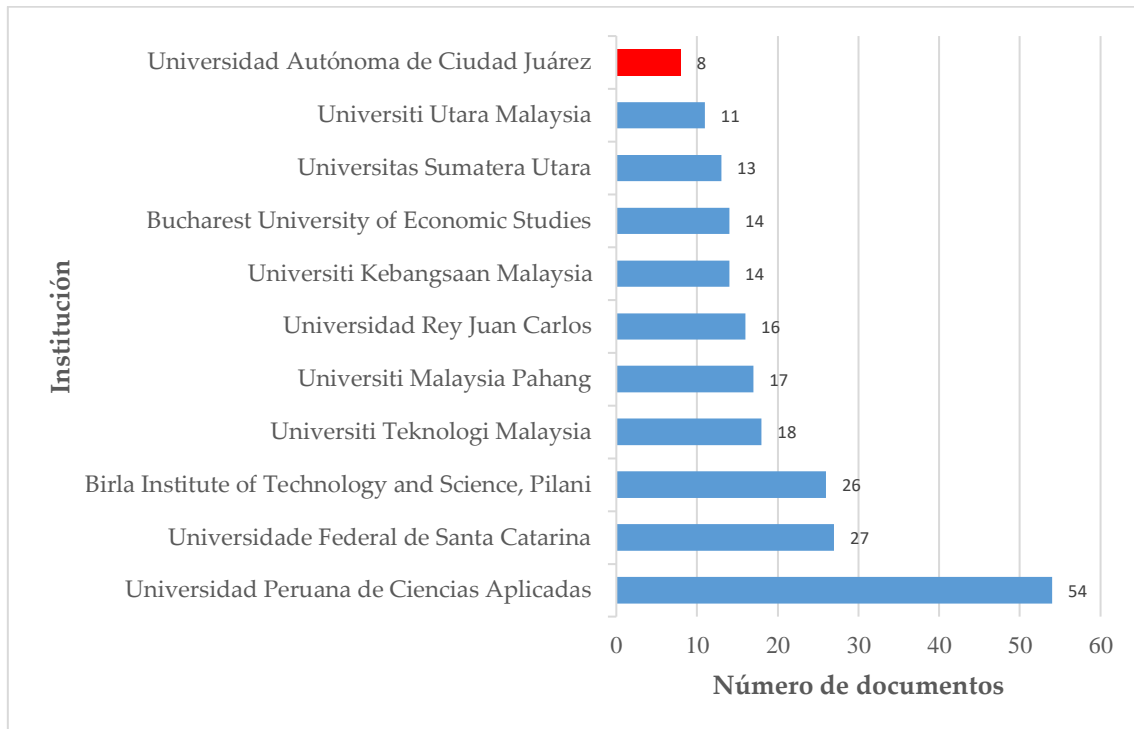


Figura 1.3 Instituciones más productivas en ME

Algunos de los autores más prolíficos en este tópico o al menos bajo esas condiciones de búsqueda se ilustran en la Tabla 1.1 (se indican solamente los autores que tienen al menos 5 documentos). Nuevamente se observa que ME es un tópico de interés para investigadores y académicos latinoamericanos, ya que algunos de ellos ocupan algunos de los primeros lugares.

Tabla 1.1 Autores que más producen en ME

Autores	Documentos
Raymundo-Ibañez, C.	26
Kodali, R., Tortorella, G.L.	17
Dominguez, F.	11
Gaiardelli, P.	10
Anand, G., Deros, B.M., Garza-Reyes, J.A., Rose, A.N.M.	9

Abdelhadi, A., Naftanaila, I.	8
Chauhan, G., Rahman, M.N.A., Singh, T.P., Stones, M.	7
Bhamu, J., Furman, J., Karim, A.N.M., Khalili, A., Khan, M.A., Kumar, V., Nordin, N., Powell, D., Salontis, K., Sangwan, K.S., Thürer, M.	6
Alhuraish, I., Basu, P., Bednarek, M., Dan, P.K., Fortuny-Santos, J., Ismail, M.Y., Jasti, N.V.K., Kobi, A., Mohamad, E., Nallusamy, S., Nawanir, G., Psomas, E., Robledo, C., Romero, D., Syahputri, K. Wuest, T.	5

1.5 Cadena de suministro (CS)

La cadena de suministros se refiere a un conjunto de actividades, instalaciones y medios de distribución que se requieren para llevar a cabo el proceso de venta de un producto de su totalidad, lo cual incluye desde el transporte y abastecimiento de materias primas, hasta la distribución del producto final al cliente (Asamoah, Agyei-Owusu, Andoh-Baidoo, & Ayaburi, 2020). Así, de acuerdo al concepto anterior, la CS involucra a proveedores, transportistas, fabricantes, distribuidores y clientes finales.

Se considera que el objetivo global de la cadena de suministros es la de satisfacer las necesidades de un cliente con un producto o servicio y para ello requiere ser dinámica, cumplir con todos los tiempos con todos los integrantes y garantizar que las materias primas que van a transformarse sean de calidad para evitar rechazos por cualquiera de los integrantes posteriores (Marinagi, Trivellas, & Reklitis, 2015). Sin embargo, la CS requiere de otros objetivos asociados para poder cumplir el objetivo global, entre los que se pueden mencionar los siguientes (Gey, Yusuf, Menhat, Abubakar, & Ogbuke, 2019):

1. Disponer de canales de comunicación directos entre los participantes de la CS Para incrementar la coordinación en el flujo de materiales, información y recursos financieros.
2. Evitar en la medida de lo posible las pérdidas generadas a lo largo de la CS, ya que representan mermas y una disminución en los índices de desempeño de la misma.
3. Optimizar los tiempos de distribución requeridos para el proceso de abastecimiento de materias primas y distribución de productos terminados.
4. Cumplir con los tiempos de entrega, cantidad y calidad estipulados en los contratos con los clientes.
5. Hacer buen uso de los inventarios y almacenes requeridos para poder dar una respuesta a la demanda pronosticada y a la incertidumbre.

Por lo anterior, puede observarse que dentro de la cadena de suministros se tienen tres componentes importantes, los cuales son (Mokhtar, Genovese, Brint, & Kumar, 2019): la proveeduría o abastecimiento de las materias primas que van al fabricante, la fabricación o transformación de esas materias primas en bienes terminados y finalmente, la distribución final de esos productos terminados al cliente o consumidor. Sin embargo, es importante mencionar que algunos autores, tales como Shibata et al. (2001), Mishima, Mishima, y Nakano (2012) y Bao, Zhang, Hu, Wu, y Liu (2021) consideran que el proceso de recolección del producto al final de su periodo de vida útil,

conocido como logística inversa, debe ser integrado como parte de las actividades de la cadena de suministro tradicional.

La CS debe ser evaluada y estudiada para conocer su desempeño, lo que implica que deben monitorearse, auditarse y analizarse las condiciones operativas de todos los procesos y etapas requeridas (Reddy. K, Rao. A, & L, 2019). La información obtenida de ese análisis permitirá identificar áreas de oportunidad para mejorar, optimizar los tiempos de entrega, minimizar costos por uso de rutas de proveeduría y distribución adecuadas (Delmonico et al., 2018), tomar acciones necesarias en caso de que sean requeridas, identificar problemas en el proceso de abastecimiento, producción, distribución y ventas finales, pero ante todo, se pueden prever situaciones que obstaculizan el trabajo y generen pérdidas en cualquiera de los procesos anteriores, lo que permite anticiparse a posibles problemas de logística (Menon & Ravi, 2021).

Una revisión bibliométrica en Scopus de las palabras claves (TITLE("supply chain performance") OR TITLE ("Supply Chain Performance") OR TITLE ("SUPPLY CHAIN PERFORMANCE")) indica que existen un total de 1,128 documentos que tienen ese conjunto de palabras en el título, lo que indica que la evaluación de la CS es de gran interés para académicos e investigadores. La Figura 1.4 indica las publicaciones por año en la línea azul y la tendencia de las mismas con la línea roja punteada y de acuerdo a ésta, las tendencias van en aumento desde que apareció el primer artículo analizando este tópico en 1996.

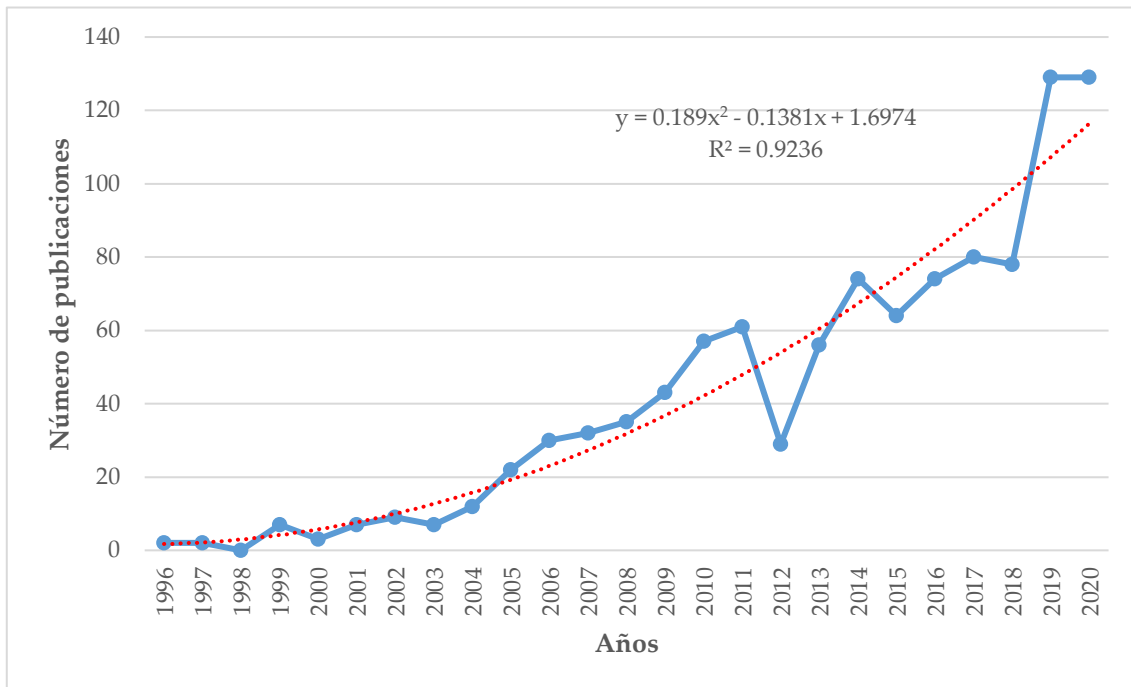


Figura 1.4 Publicaciones sobre desempeño de la cadena de suministros

Los principales países en donde se estudia el tópico del desempeño de la cadena de suministro es China, Estados Unidos, India, Indonesia, Reino Unido, Malasia, Tailandia, Iran, Francia y Taiwán. Sin embargo, la producción académica de los primeros 3 países representa casi el 50% del total en este tópico.

En el análisis bibliométrico también se observa que existen muchas revistas y conferencias internacionales especializadas que publican sobre el tópico del desempeño

de las cadenas de suministro, entre las que se pueden mencionar la siguiente: International Journal of Supply Chain Management, International Journal of Production Economics, Benchmarking, Supply Chain Management, International Journal of Logistics Systems and Management, International Journal of Production Research, International Journal of Productivity and Performance Management, Production Planning and Control, Iop Conference Series Materials Science and Engineering, Uncertain Supply Chain Management y Industrial Management and Data Systems.

En relación con las instituciones que más publican sobre el tópico de desempeño de la cadena de suministro, la Figura 1.5 ilustra que en su mayoría, son universidades asiáticas, predominando aquellas de la India y Malasia. En este caso, La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez como institución latinoamericana cuenta con 8 publicaciones en este tópico.

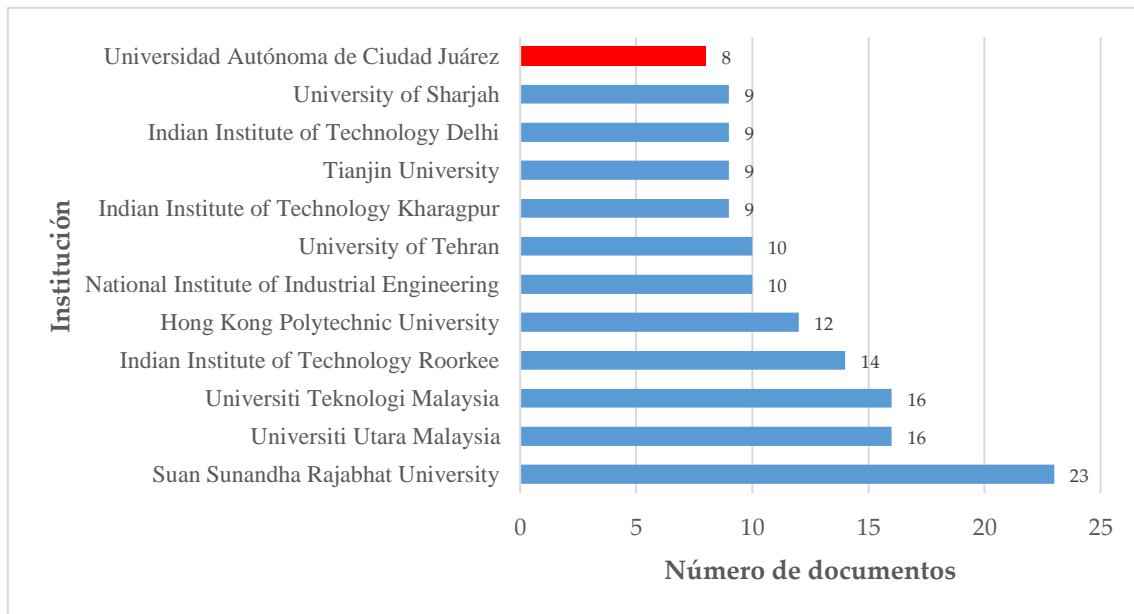


Figura 1.5 Principales instituciones que publican sobre desempeño de la CS

La Tabla 1.2 ilustra los principales autores que investigan este tópico, donde se reportan solamente los autores que tienen al menos cuatro documentos. Nuevamente se observa que los principales autores son de origen asiático, sobre todo China, India y Taiwán; sin embargo, autores como García-Alcaraz, J.L. y Avelar-Sosa, L. también aparecen en la lista como autores mexicanos.

Tabla 1.2 Autores que más producen en desempeño de la CS

Autores	Documentos
Gunasekaran, A., Jermisittiparsert, K.	11
Tyagi, M.	9
García-Alcaraz, J.L., Kumar, D.	8
Kumar, P., Wong, K.Y.	7
Carpinetti, L.C.R.	6
Avelar-Sosa, L., Chan, F.T.S., Costantino, F., Di Gravio, G., Dubey, R. Gavirneni, S., Kamble, S., Khan, S.A., Kumar, N., Nikabadi, M.S., Pillai, V.M., Saudi, M.H.M., Shaban, A., Singhry, H.B., Tronci, M.	5
Aunyawong, W., Azevedo, S.G., Barua, M.K., Chandak, S., Datta, S.	4

George, J., Ghadge, A., Imm, N.S., Kim, K.K., Kumar, V., Lin, F.R., Luthra, S., Mahapatra, S.S., Mandal, S., McCormack, K., Roespinoedji, D., Thakkar, J., Towill, D.R., Wong, W.P., Zhao, X.	
---	--

1.6 La relación entre ME y sustentabilidad

Dado que la ME está constituida por un conjunto de herramientas, muchas de ellas son enfocadas a garantizar calidad, mejorar el flujo de las materias primas a lo largo del proceso de producción y mantener las máquinas y herramientas en condiciones óptimas, lo que hace que sea vista como una fuente de sustentabilidad, la cual puede ser social, económica y ambiental.

Han sido muchos los trabajos que se han realizado con la finalidad de relacionar la ME con la sustentabilidad. Por ejemplo, un pionero en este tópico fue Pazos, Canto, y Powell (2009), quién analiza el impacto de los factores sociales en la sustentabilidad de los procesos de ME implementados en Estados Unidos de América y México. Por su parte, Gingerich (2011) es el primero en estudiar ME en la manufactura de accesorios médicos, los cuales tienen que ser de alta confiabilidad.

C. Silva, Vaz, y Ferreira (2013) son los primeros en analizar la ME como una fuente de la sustentabilidad social y ambiental basados en entrevistas realizadas a gerentes de empresas brasileñas. Por su parte, Sobral, Sousa Jabbour, y Chiappetta Jabbour (2013) son los primeros en hablar de los beneficios verdes que obtienen las empresas del sector automotriz al implementar la filosofía de producción de ME.

Otros autores han sido más específicos, ya que estudian la relación de alguna o algunas herramientas de ME y su impacto en la sustentabilidad de las empresas. Por ejemplo, Brown, Amundson, y Badurdeen (2014) analizan el impacto que tiene Value Stream Mapping (VSM) en diferentes configuraciones de los sistemas productivos, mientras que Faulknery Badurdeen (2014) analizan también VSM pero se enfocan en medir el desempeño sustentable de la ME y sus métricas de salida.

Por su parte, Jiménez, Romero, Domínguez, y Espinosa (2015) hacen uso de la técnica 5S como una herramienta base que da sustentabilidad a laboratorios de Ingeniería Industrial, mientras que Kurdve, Shahbazi, Wendin, Bengtsson, y Wiktorsson (2015) se enfocan en la herramienta de desperdicios para mejorar la sustentabilidad y evitar los reprocesos de productos, los cuales implican consumo de energía y materias primas que muchas veces son desechadas.

Una lista de autores que han asociado algunas de las herramientas de ME con la sustentabilidad es la siguiente:

- 5S (Carrera, Del Olmo, Cuadrado, Escudero, & Cuadrado, 2021; J. L. García-Alcaraz et al., 2021; Setiawan et al., 2021)
- Andon (Kabu & Tira, 2015; Klotz & Horman, 2007)
- Análisis de cuello de botella (Jayswal, Li, Zanwar, Lou, & Huang, 2011; Morales Méndez & Rodríguez, 2017; Palomo et al., 2018)

- Flujo continuo de la producción (Bennett, Campbell, & Abolhasani, 2019; Dallinger & Kappe, 2017; J. L. García-Alcaraz et al., 2021; Kairouz & Collins, 2018)
- Heijunka (Hüttmeir, de Treville, van Ackere, Monnier, & Prenninger, 2009; Milosevic, Djapan, D'Amato, Ungureanu, & Ruggiero, 2021)
- Hoshin Kanri (De Vries & Van der Poll, 2018; Mothersell, Moore, & Reinerth, 2008)
- Jidoka (Caiado, Nascimento, Quelhas, Tortorella, & Rangel, 2018; Rosin, Forget, Lamouri, & Pellerin, 2020; S. Silva, Sá, Silva, Ferreira, & Santos, 2020; Tamás et al., 2020)
- Just in time (Chen & Bidanda, 2019; Green, Sower, Zelbst, & Inman, 2019; Wang, Yin, Khan, Wang, & Zheng, 2021)
- Kaizen (Cherrafi et al., 2019; Morell-Santandreu, Santandreu-Mascarell, & García-Sabater, 2020)
- Kanban (Ani et al., 2018; López-Alcarria, Olivares-Vicente, & Poza-Vilches, 2019; Prachař, Fidlerová, Sakál, & Zbojová, 2014; Romeira, Moura, & Robaina, 2020)
- KPIs (Kibira, Brundage, Feng, & Morris, 2018; Kibira & Feng, 2017; Patil & Javalagi, 2020; Wehner, Betten, Held, & Ilg, 2017)
- Muda o desperdicios (Sanchez, Sanchez, Dueñas, Hernandez-Sanchez, & Guadalajara, 2020; Sinha & Majumdar, 2021; Thomas & Harilal, 2019; Xu, Ramzan, Munir, Liu, & Gupta, 2020)
- OEE (Cercós, Calvo, & Domingo, 2019; Domingo & Aguado, 2015; Esa & Yusof, 2016; Susilawati, Tasri, Arief, & Yohanes, 2019; Yazdi, Azizi, & Hashemipour, 2018)
- Poka-Yoke (Abed, Elattar, Gaafar, & Alrowais, 2020)
- Análisis de causa raíz (Amani, Lindbom, Sundström, & Östergren, 2015; Aurisicchio, Bracewell, & Hooey, 2016; Yan et al., 2012)
- SMED (Cakmakci & Karasu, 2007; Ebrahimi, Khakpour, & Saghiri, 2021; J. L. García-Alcaraz et al., 2021)
- Seis grandes pérdidas (Morella, Lambán, Royo, Sánchez, & Corrales, 2020; Susilawati et al., 2019)
- Trabajo estandarizado (Bhise, Singh, & Kishan, 2014; Faeni, 2017; Hussain, Rehman, Case, Masood, & Habib, 2018)
- TPM (Ahuja & Khamba, 2008, 2009; Samadhiya & Agrawal, 2020; U. Singh & Ahuja, 2015)
- VSM (Brown et al., 2014; Megayanti, Anityasari, & Ciptomulyono, 2018; Soltani, Aouag, & Mouss, 2020; Sparks & Badurdeen, 2014)

1.7 ME en la industria maquiladora

La aplicación de esas herramientas de ME ha sido reportada y estudiada desde hace mucho tiempo en la industria maquiladora, pero con un enfoque hacia la calidad solamente, ignorando los otros pilares de esta filosofía de producción. Esto es muy importante, ya que herramientas como el control total de la calidad son los que dan fortaleza a uno de los pilares de ME y de hecho, metodologías como SS se encuentran en la base de dichos pilares. Sin embargo, para algunos autores ME y SS son conceptos y técnicas diferentes, donde incluso se llega a hablar de términos conjuntos como lean six sigma (Gandhi, Thanki, & Thakkar, 2021) En esta tesis se considera que SS es parte de ME y se encuentra en la base, tal como lo ilustra la Figura 1.1.

1.7.1 Herramientas de soporte

En relación a las herramientas aplicadas a la industria maquiladora y que integran la base de ME, García, Rivera, y Iniesta (2013) reporta los principales factores de éxito para la implementación de kaizen en este sector, reportando la importancia que tienen los recursos humanos en este proceso. Después, Vento, Alcaraz, Macías, y Loya (2016) realiza un estudio en el que demuestra que el compromiso gerencial es de vital importancia en la implementación de kaizen, ya que los gerentes son quienes deben poner el ejemplo a los empleados que son quienes la aplican en las líneas de producción.

También, Morales-García, Díaz-Reza, y García-Alcaraz (2021) comprueba mediante un modelo de ecuaciones estructurales (MEE) que el mantenimiento preventivo total y el índice de eficiencia total de los equipos tienen un impacto en el desempeño social de las empresas maquiladoras, ya que existe una disminución de accidentes que afectan a los empleados.

Sin embargo, las aplicaciones de SS también han sido reportadas. Por ejemplo, Tlapa, Limon, García-Alcaraz, Baez, y Sánchez (2016) analiza los principales facilitadores que deben estar presentes para la implementación de SS, mientras que Tlapa-Mendoza, Limón-Romero, Báez-López, y Salinas-Coronado (2014) propone a SS como una metodología que permite diagnosticar las capacidades de la empresa con métricas confiables que facilitan proponer un mejoramiento continuo. Finalmente, Gastelum-Acosta et al. (2021) investiga los principales factores de éxito requeridos para la implementación de SS en la industria maquiladora.

1.7.2 Herramientas de calidad

En relación a estudios asociados la calidad en las maquiladoras, Dowlatshahi (1998) ya reportaba el rol que tenía el proceso de proveeduría en la calidad obtenida en el proceso de producción de las maquiladoras y su relación con ME, mientras que Alyy Schloss (2003) es el primero en estudiar los procesos de certificación y administración de la calidad que deberían de seguir ese tipo de empresas para poder mantenerse en los mercados globalizados.

Después, Jun, Cai, y Peterson (2004) estudia los obstáculos que enfrenta la industria maquiladora mexicana para implementar los programas de calidad total en sus líneas de producción, ya que muchas de estas filosofías eran importadas, implementadas

y no adaptadas al entorno propio de la cultura mexicana. Por ello, Jun, Cai, y Shin (2006) analizan las prácticas de implementación de esos programas de calidad como un antecedente de la lealtad de los clientes y la satisfacción de los empleados.

1.7.3 Herramientas de flujo de materiales

Trabajos recientes ya han integrado herramientas asociadas al pilar del flujo de materiales; por ejemplo, García et al. (2014) presenta un MEE para relacionar factores críticos de éxito en la implementación de justo a tiempo con el desempeño de la industria maquiladora, mientras que J. García-Alcaraz, Maldonado, Alvarado Iniesta, Cortes Robles, y Alor Hernández (2014) aparece un estudio de los principales elementos, beneficios y barreras que enfrentan las maquiladoras al implementar esa herramienta. Finalmente, Molina, García-Alcaraz, Loya, Tanino, y Tlapa (2017) analiza el impacto que tienen los recursos humanos en la calidad de los productos terminados cuando se han implementado la herramienta de justo a tiempo en las líneas de producción, y señala que el cumplimiento de tiempos de entrega con el cliente incrementa el nivel de satisfacción en los operadores de línea.

Asimismo, J. R. Díaz-Reza et al. (2016) reporta el efecto de SMED en el desempeño de las maquiladoras e indica que dicha herramienta da mayor flexibilidad y posibilidades de lotes de producción mas pequeños. También, J. Díaz-Reza et al. (2018) reporta la necesidad de que exista un compromiso gerencial en la implementación de TPM, ya que son la base de la calidad solamente si cuentan con una calibración adecuada. Finalmente, Arredondo-Soto, Cruz-Castillo, Carrillo-Gutierrez, Solis-Quinteros, y Avila-Lopez (2018) analiza la importancia que tiene la calibración de las máquinas y herramientas para la reducción del costo de producción.

1.8 Problema de investigación

Se ha mencionado anteriormente que la industria maquiladora es el principal giro económico en Ciudad Juárez (México), esto debido a la cantidad de empresas de este tipo que existen en el municipio y de mano de obra directa que requiere. Sin embargo, aun con la importancia económica y social de ese sector, los estudios sobre ME son pocos y se enfocan en el análisis de ciertas herramientas, las cuales son estudiadas de manera aislada y en la práctica industrial, son muchas las herramientas de ME que se implementan de manera simultánea en las líneas de producción, por lo que esos modelos suelen ser reduccionistas o de poca implicación industrial, ya que no integran la totalidad de las variables involucradas.

En una búsqueda en Scopus sobre la aplicación de ME y sus herramientas a la industria maquiladora, se ha encontrado que los trabajos de investigación son pocos (revisado el 18 de octubre de 2021). La Tabla 1.3 indica el número de artículos científicos que tratan temas asociados a herramientas de ME y que son aplicados a la industria maquiladora; sin embargo, la tercera columna indica la cantidad de artículos que han sido publicados de manera global y que contienen esa herramienta temática central, observese que la diferencia es muy grande.

Dado que el principio de la ME está enfocado a la eliminación de desperdicios, se observa que 26 de 48 de los artículos encontrados y aplicados a la industria

maquiladora cubren este tópico, lo que representa el 54.1% del total de artículo publicados sobre ese sector. De la misma manera, se observa que en muchas de esas herramientas no se encontró ningún artículo, lo que representa una área de oportunidad de investigación

Aunque las herramientas se encuentran ordenadas de mayor a menor de acuerdo a las aplicaciones que tienen en la industria maquiladora, se observa que de manera global la herramienta asociada a desperdicios es la más ampliamente usada, seguida por el flujo continuo, la aplicación de 5S y justo a tiempo.

Tabla 1.3 Artículos científicos sobre herramientas de ME aplicadas a la IM

Herramienta	Artículos aplicados a maquiladora	Artículos aplicados globalmente
Muda o desperdicios	26	731,588
Justo a tiempo	8	14,796
Manufactura esbelta	6	5,124
SMED	3	244
Kaizen	2	1,644
Mantenimiento predictivo total	2	6,581
5S	1	22,833
Flujo continuo	1	33,881
Kanban	1	2,062
Eficiencia total del equipo	1	1,450
Andon	1	157
Análisis de cuello de botella	0	524
Gemba	0	22
Heijunka	0	66
Hoshin Kanri	0	110
Fábrica visual.	0	29
Trabajo estandarizado	0	379
Jidoka	0	75
PHVA	0	1,616
VSM	0	839
Poka-yoke	0	246
Análisis de causa raíz	0	5,781

De la información contenida en la Tabla 1.1 se concluye que existen muchas áreas de oportunidad para investigar en relación a la aplicación de las herramientas de ME aplicadas a la industria maquiladora, donde muchas de ellas se aplican; sin embargo, no se ha realizado investigación científica y estructurada sobre las mismas.

De la misma manera, la relación que tiene la aplicación de esas herramientas de ME con algún tipo de sustentabilidad es casi nula en este sector industrial, donde se limitan solamente a índices de tipo operativo y productivo, ignorando su impacto ambiental.

1.9 Objetivo de investigación

Cuantificar el impacto que tienen las herramientas de ME en los niveles de sustentabilidad que tienen las empresas maquiladoras en Ciudad Juárez (Chihuahua, México).

1.10 Hipótesis general

La implementación de herramientas de ME tiene un efecto directo y positivo en la sustentabilidad de las empresas maquiladoras establecidas en Ciudad Juárez (Chihuahua, México).

Una representación genérica de la hipótesis planteada se ilustra en la Figura 1.6, donde la implementación de las herramientas de ME es la variable independiente y la sustentabilidad es la variable dependiente. Sin embargo, es importante mencionar que dato que son muchas las herramientas que integran la ME (la cantidad depende del autor consultado) y la sustentabilidad tiene tres vértices (social ambiental y económico), lo que permite formular muchos modelos y relaciones causales.



Figura 1.6 Hipótesis general

2. Metodología

2.1 Elaboración del cuestionario

Para validar el modelo y las relaciones entre las herramientas de ME y la sustentabilidad, se requiere información de la IM, por lo que se realiza una revisión de literatura enfocada a identificar variables que indiquen el nivel de implementación que tienen éstas en las líneas de producción. Asimismo, se busca identificar los principales ítems que integran los tres tipos de sustentabilidad analizados. Esta revisión de literatura es considerada una validación racional, ya que parte de conocimiento generado en otros países, sectores industriales y bajo otro contexto geográfico y político (Zhang, Tang, & Zhang, 2016).

De esa revisión de literatura se genera una lista de variables para medir el nivel de implementación de las herramientas de manufactura y la sustentabilidad, mismas que se integran en un cuestionario inicial. Sin embargo, antes de ser aplicado a la industria maquiladora, es revisado por seis gerentes que laboran en ese sector y siete académicos con la finalidad de realizar una validación por jueces y tener una mejor adaptación al entorno cultural y propio del sector. Los jueces evalúan cuatro aspectos en cada una de las preguntas o ítems que se hacen en una escala del uno al cuatro: la suficiencia, la claridad, la coherencia y la relevancia (Parsazadeh, Ali, Rezaei, & Tehrani, 2018).

El cuestionario final consta de tres secciones. En la primera, se busca obtener datos demográficos asociados al encuestado y al sector en el cual se encuentra laborando, tales como la antigüedad en el puesto que desempeña, el sector industrial al que pertenece, sexo, entre otros. La segunda sección se refiere a las herramientas de ME, las cuales fueron 25 en total y son: 5S, andon, análisis de cuello de botella, flujo continuo, gamba, heijunka, Hoshin Kanri, jidoka, justo a tiempo, sistemas pull (Kanban), KPIs (indicadores claves de desempeño), muda o desperdicio, OEE (eficiencia global de los equipos), PDCA (planear, hacer, verificar, actuar), poka-yoke, análisis de causa raíz, SMED (cambios rápidos), seis grandes pérdidas, metas SMART, trabajo estandarizado, tack time, mantenimiento preventivo total, mapa de valor de procesos, fábrica visual. Finalmente, la tercera sección se dedica a la sustentabilidad y se analizan principalmente el enfoque social, ambiental y económico.

Sin embargo, cada una de esas herramientas de ME y de sustentabilidad tienen a su vez preguntas que deben responderse en una escala Likert de cinco puntos. Un uno indica que la actividad no se realiza o que el beneficio no se obtiene, un 5 indica que la actividad siempre se realiza o que el beneficio siempre se obtiene. Valores como 2, 3 y 4 son usados para la categoría de casi nunca, regularmente y casi siempre.

2.2 Aplicación del cuestionario

Dado que en marzo de 2020 fue declarada la pandemia por COVID-19, la aplicación del cuestionario se realizó de manera online, dadas las restricciones de acceso que se tenían a las empresas. Se solicitó ayuda a la Asociación de Maquiladoras A.C. de Ciudad Juárez para la identificación de los gerentes y posibles encuestados. Se envía un correo electrónico a cada uno de los posibles encuestados, invitándoles a participar en la investigación e indicándoles que la información obtenida sería usada solamente con fines académicos y científicos. En cada correo se envió un enlace al cuestionario que estaba hospedado en la plataforma de Google Forms.

2.3 Obtención de la información y depuración

La plataforma de Google Forms permite descargar la base de datos con todas las preguntas y respuestas en una extensión xlsx para ser abierta en Excel de Microsoft Office. Después, esa base de datos es exportada al software estadístico SPSS v.25® para iniciar con un proceso de depuración de ésta, el cual consiste en las siguientes actividades:

- Identificación de los valores perdidos. Se realiza un conteo de la cantidad de valores perdidos que existen en cada caso o cuestionario respondido. Si el porcentaje es mayor a 10%, entonces ese caso es descartado del análisis y en caso contrario, los valores perdidos son reemplazados por la mediana (Dray & Josse, 2015).
- Identificación de valores extremos. Cada una de las variables observadas o ítems son estandarizadas. Los valores mayores a cuatro en valor absoluto son considerados valores extremos y son reemplazados por la mediana (Hoffman, 2019).
- Identificación de encuestados no comprometidos. Se obtiene la desviación estándar de cada uno de los casos o cuestionarios. Si los valores obtenidos son mayores a 0.5, se considera que el encuestado no estaba comprometido y que siempre ha dado la misma respuesta a todas las preguntas y esos casos fueron descartados del análisis (Sonmez & Pintelon, 2020).

2.4 Análisis descriptivo de la muestra y los ítems

Con la información contenida en la sección uno del cuestionario y asociada a datos demográficos, se realizan tablas cruzadas para una mejor descripción de la muestra, donde se obtienen sumatorias por categorías. Para describir la información contenida en las secciones dos y tres. Se realizan dos estimaciones:

1. Se obtiene la mediana como una medida de tendencia central de cada uno de los ítems analizados. Valores altos indican que esa actividad siempre es realizada o que el beneficio siempre es obtenido, mientras que valores bajos indican que esa

actividad no se realiza o que el beneficio no es obtenido (Iacobucci, Posavac, Kardes, Schneider, & Popovich, 2015).

2. Se obtiene el rango intercuartílico de cada uno de los ítems como medida de dispersión (diferencia entre el tercer y primer cuartil). Valores altos indican que no hay un acuerdo o consenso entre los encuestados en relación al ítem analizado, mientras que valores bajos indican que los encuestados tienen un consenso en relación al valor medio que tiene el ítem (Tominaga, Sekiguchi, Yonemoto, Kakuma, & Konno, 2018).

2.5 Validación de las variables latentes

Las variables observadas o ítems están integradas en variables latentes y antes de hacer uso de estas, se lleva a cabo un proceso de validación de acuerdo con los siguientes índices sugeridos por Kock (2019a):

- R^2 y R^2 ajustado miden la validez predictiva paramétrica en las variables latentes dependientes y se sugiere que tenga un valor mayor a 0.02.
- Índice de fiabilidad compuesto y alfa de Cronbach miden la validez interna de las variables latentes y debe ser mayor a 0.7 en estudios confirmatorios y de 0.6 en estudios exploratorios.
- La varianza media extraída (AVE) mide la validez convergente de las variables latentes y se aceptan valores mayores a 0.5.
- Q^2 mide la validez predictiva no paramétrica y se recomiendan valores mayores a cero y similares al valor de R^2 . Valores negativos en este índice indican problemas de colinealidad.
- El índice de inflación de la varianza (VIF) se usa para medir la colinealidad al interior de las variables latentes y debe ser menor a 5, aunque preferentemente debe ser menor a 3.3.

Es importante mencionar que los índices anteriores son recomendados cuando se usa un enfoque de mínimos cuadrados parciales para obtener la dependencia entre las variables; sin embargo, también se reportan otros índices de validación que son usados cuando se usan otros enfoques para las estimaciones, tales como: coeficientes T para los coeficientes de trayectoria (los valores superiores a 1.96 son mejores), el intervalo de confianza para los coeficientes de trayectoria (los intervalos no deben incluir el cero), los coeficientes T para las cargas factoriales (los valores superiores a 1.96 son mejores), los intervalos de confianza para las cargas factoriales (los intervalos deben incluir a 0.5), los coeficientes de fiabilidad adicionales, las correlaciones entre las variables latentes con las raíces cuadradas de los AVE (para la validez discriminante), las fiabilidades del PLSc, el índice rho de Dijkstra, los VIF de colinealidad completa y los coeficientes HTMT para la validez convergente.

Es importante mencionar que muchos de los índices anteriores, tales como el índice alfa de Cronbach, han sido obtenidos de manera iterativa, ya que algunos de los ítems fueron removidos con la finalidad de incrementar el índice de eficiencia. De la misma manera, si las cargas factoriales de algún ítem en una variable latente era menores a 0.7, estas se eliminaban dado que no tenían suficiente convergencia en la variable que se les había asignado.

2.6 Modelo de ecuaciones estructurales (MEE)

Para validar la relación que existe entre las herramientas de ME y la sustentabilidad, se ha elegido la técnica de modelado de ecuaciones estructurales (MEE), ya que permite establecer relaciones entre variables cuando éstas son latentes; es decir, cuando a su vez estas están compuestas por variables observadas y que no son medidas o valoradas de manera directa. Además, el MEE permite que una variable en el modelo juegue diferentes roles, como independiente y dependiente de manera simultánea, lo que permite generar una estructura en las relaciones y hipotetizarlas (Kock, 2019a).

Las variables asociadas a las herramientas de ME fueron agrupadas y se generaron varios modelos de ecuaciones estructurales. Para encontrar la relación entre las variables se usa la técnica de mínimos cuadrados parciales (PLS) que está integrada en el software denominado WarpPLS v.7[®], ya que es recomendado cuando se tienen problemas de normalidad en la distribución de los datos, la muestra es pequeña o la información fue colectada mediante una escala ordinal o Likert, tal como sucede en esta investigación (Hwang, Jeong, & Ban, 2016).

Antes de interpretar los resultados obtenidos de un modelo, Kock (2019b) indica que deben cumplirse una serie de índices de calidad y eficiencia del mismo. Es importante mencionar que todos los índices obtenidos y las inferencias realizadas se hacen con un 95% de confianza, por lo que el nivel de significancia es del 5%. Los índices se listan a continuación:

- Coeficiente promedio de trayectoria (APC) para medir el nivel de significancia promedio en la regresión de una variable con respecto a otra. A este índice se le asocia un p-valor que debe ser menor o igual a 0.05.
- R-cuadrado promedio (ARS) y el R-cuadrado promedio ajustado (AARS) para medir la validez predictiva del modelo en las variables dependientes y el p-valor asociado a estos índices debe ser menor a 0.05. Valores bajos en estos índices indican que la relación entre las variables es débil
- VIF medio de bloque (AVIF) y el VIF promedio de colinealidad completa (AFVIF) Para medir la colinealidad existente entre las variables latentes y debe ser menor a 5, aunque preferentemente menor a 3.3.

- El GoF de Tenenhaus (GoF) mide el ajuste de los datos en el MEE y debe ser superior a 0.36.

Si el MEE establecido cumple con los índices de eficiencia anteriores, se procede a estimar tres tipos de efectos entre las variables, mismos que se discuten a continuación.

2.6.1 Efectos directos

Para cada relación entre variables en el MEE, se obtiene un valor β estandarizado que mide el efecto expresado en desviaciones estándar que tiene una variable independiente sobre una variable dependiente. La importancia de esos parámetros β es que ayudan a probar estadísticamente las hipótesis establecidas, donde se prueba la hipótesis nula $H_0: \beta=0$, versus la hipótesis alternativa $H_1: \beta \neq 0$. Si se comprueba estadísticamente con un nivel de confianza del 95% que $\beta=0$, entonces se concluye que no existe una relación directa entre las variables analizadas. Sin embargo, si se demuestra que $\beta \neq 0$, entonces se concluye que existe una relación entre ellas, independientemente del signo de β (Farooq, Salam, Fayolle, Jaafar, & Ayupp, 2018).

Es importante mencionar que a cada valor de β se le asocia un p-valor que permite establecer la conclusión en relación a las hipótesis establecidas. Dado que el nivel de confianza es del 95%, entonces el p-valor debe ser siempre menor o igual a 0.05 para indicar que existe una relación entre dos variables.

2.6.2 Efectos indirectos

Cuando se construye el MEE, muchas veces se genera una estructura o red que relaciona a estas y por lo tanto, es posible que las relaciones que se dan no siempre sean directas, sino que pueden darse a través de terceras variables mediadoras, por lo que se usan dos segmentos o más. Cuando se dan esos efectos a través de variables mediadoras, se dice que éstos son indirectos.

Para cada efecto indirecto se calculan valores de β y se realizan pruebas estadísticas al 95% de confianza, tal como ocurre con los efectos directos y la conclusión es de manera similar. La interpretación de este tipo de efectos es interesante cuando son estadísticamente significativos, y los efectos directos no lo han sido, indicando la importancia de las variables mediadoras en relaciones entre terceras variables.

En este caso, se reportan la suma de efectos indirectos para cada una de las relaciones entre variables, ya que puede haber varios, dependiendo del número de segmentos que se involucren en el cálculo. Así, puede haber efectos indirectos de 2 segmentos, de 3 segmentos, y muchos más.

2.6.3 Efectos totales

Finalmente, se calculan los efectos totales, los cuales son la suma aritmética de los efectos directos y la suma de efectos indirectos y también se representan por un valor de β estandarizado al cual se le asocia un p-valor. La interpretación estadística es similar a la que se realiza con los efectos directos e indirectos y habrá ocasiones en que el efecto directo y el efecto total sean el mismo, lo que indicará que no existe un efecto indirecto entre ambas variables.

2.6.4 Los tamaños de los efectos

En los MEE a cada variable dependiente se le asocia un valor de R^2 como una medida de la varianza explicada en esta por parte de las variables independientes; sin embargo, existen ocasiones en las que una variable dependiente es explicada por más de una variable independiente y entonces se calcula el tamaño de los efectos el cual representa la contribución que tiene cada una de las variables independientes para explicar el valor de R^2 en una variable dependiente. La suma de los tamaños de los efectos en una variable dependiente es igual al valor de R^2 en una variable dependiente.

2.6.5 Análisis de sensibilidad

Una de las ventajas de usar WarpPLS v.7[®] es que todos los valores estimados son estandarizados, lo que permite obtener la probabilidad de ocurrencia en las variables de forma aislada, conjunta y condicional a diferentes niveles. En esta investigación, se considera que una variable tiene una probabilidad de ocurrencia alta si el valor Z estandarizado es mayor que 1 [$P(Z>1)$] o baja si el valor estandarizado es menor que -1 [$P(Z<-1)$].

En esta investigación se estiman las probabilidades de ocurrencia conjuntas entre variables y se representan con "&" y se estiman las siguientes: $P(Z_i>1)\cap P(Z_d>1)$, $P(Z_i>1)\cap P(Z_d<-1)$, $P(Z_i<-1)\cap P(Z_d>1)$ y $P(Z_i<-1)\cap P(Z_d<-1)$. Por otro lado como, las probabilidades condicionales estimadas son $P(Z_d>1)/P(Z_i>1)$, $P(Z_d>1)/P(Z_i<-1)$, $P(Z_d<-1)/P(Z_i>1)$ y $P(Z_d<-1)/P(Z_i<-1)$; donde Z_i representa una variable independiente y Z_d representa una variable dependiente.

3. Descripción de los artículos publicados

Como se ha mencionado inicialmente, esta tesis se presenta bajo la modalidad de compendio científico de artículos publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports. Las áreas temáticas de las publicaciones, de acuerdo con los códigos UNESCO (nomenclatura internacional de la UNESCO para los campos de ciencia y tecnología), son las siguientes:

331003 Procesos Industriales

331005 Ingeniería de Procesos

331006 Especificaciones de Procesos

531107 Investigación Operativa

531108 Niveles Óptimos de Producción

531109 Organización de la Producción (Ver 3310.07)

531208 Fabricación

3.1 Contribución del doctorando en los artículos

Dado que las publicaciones aquí presentadas han sido en colaboración con otros investigadores, a continuación se menciona la contribución del doctorando en los mismos.

Artículo 1: Jorge Luis García Alcaraz ha sido el responsable de realizar el diseño de la investigación, líder en la aplicación de encuestas con el sector industrial, ha dirigido el análisis de la información e interpretación de ésta. Como autor corresponsal, ha establecido contacto con la editorial hasta la publicación del artículo.

Artículo 2: Jorge Luis García Alcaraz realizó el diseño del instrumento de valoración que fue aplicado en las empresas, estableció contacto con las mismas para aplicar las encuestas, realizó el análisis e interpretación de la información. Asimismo, dirigió la escritura y fue autor corresponsal ante la editorial.

Artículo 3. Jorge Luis García Alcaraz fue el responsable del diseño del cuestionario aplicado a la industria maquiladora, estableció contacto directo con las empresas para aplicación, realizó la depuración y validación de la información. Finalmente, lideró la escritura junto a Emilio Jiménez Macías y Carlos Javierre Lardies. También, fue el autor corresponsal con la editorial desde que el documento fue sometido, hasta que fue publicado.

Artículo 4. Jorge Luis García Alcaraz fue el colaboró en el diseño y adaptación de la encuesta aplicada a las empresas, estableció contacto con ellas para la obtención de la información. Finalmente, colaboro en el análisis de los resultados, escritura del manuscrito y fungió como autor corresponsal ante la editorial.

3.2 Artículo 1. The importance of access to information and ...

García-Alcaraz, J. L., Montalvo, F. J. F., Avelar-Sosa, L., Pérez de la Parte, M. M., Blanco-Fernández, J., & Jiménez-Macías, E. (2020). The importance of access to information and knowledge coordination on quality and economic benefits obtained from Six Sigma. *Wireless Networks*, 26(8), 5713-5726. doi:10.1007/s11276-019-02180-7. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q2 o Q3, según la categoría en la que sea analizada, con IF de 2.602 y con JIF de 53.66.

La Figura 3.1 ilustra una imagen en la que se demuestra los índices antes mencionados:

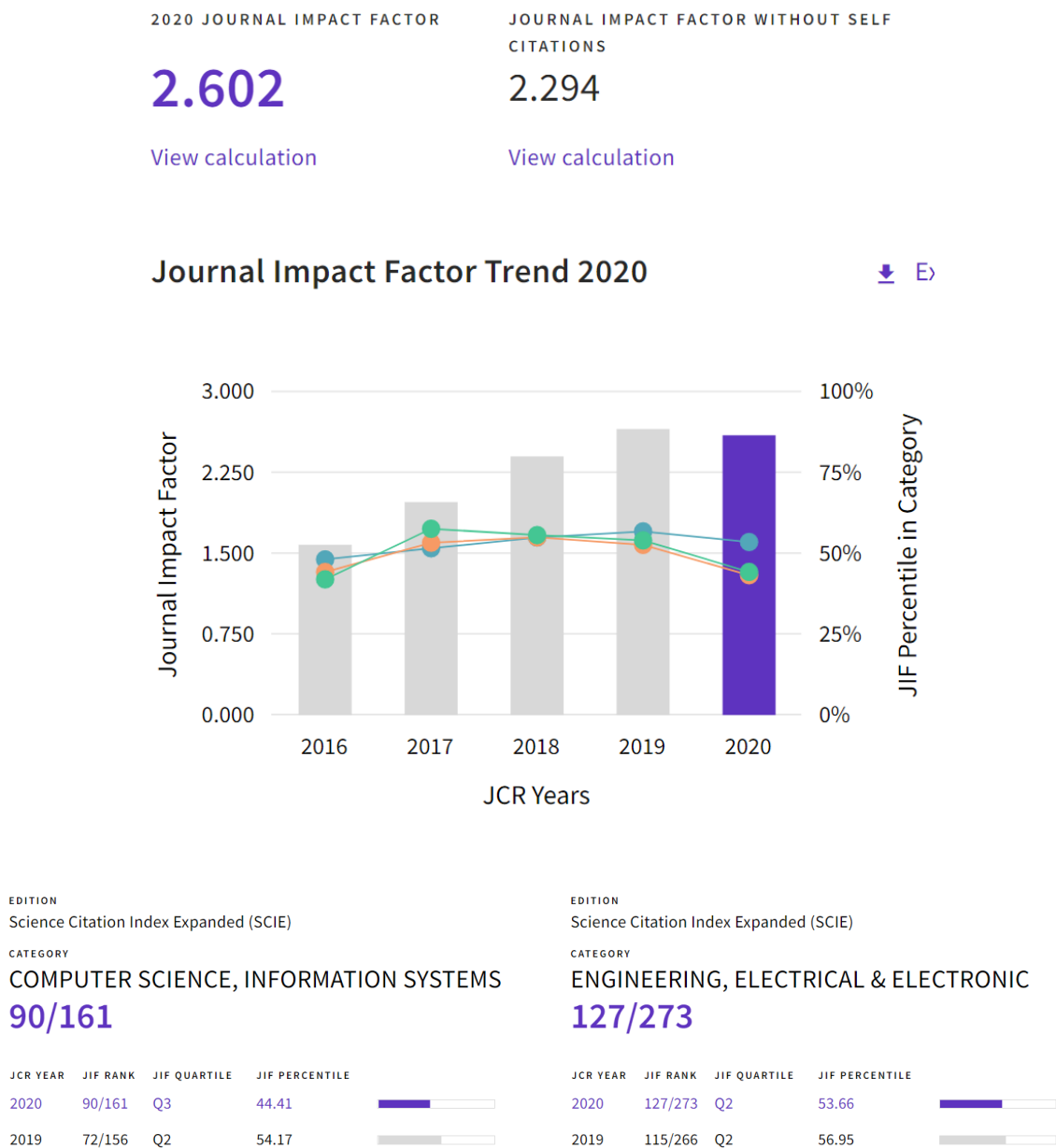


Figura 3.1 Factor de impacto de Wireless Networks

Fuente: Journal Citation Reports 2020

Este artículo es aplicado a una de las herramientas de ME, la cual es SS y que se encuentra en la base (aunque vale la pena recordar que muchos autores consideran a 6 Sigma como una filosofía independiente a ME). Para fines de este trabajo, se considera que SS es parte de ME, la cual está enfocada a garantizar la calidad del producto antes de implementar programas de eliminación de desperdicios, aunque en la vida real se aplican de manera simultánea.

El artículo presenta un MEE con cuatro variables, las cuales son la coordinación del conocimiento, el acceso a la información, los beneficios de calidad y económicos que obtiene la empresa. En este caso, se asume que la realización de diferentes proyectos aplicados al mejoramiento de la calidad de los productos genera conocimiento que debe ser coordinado por los líderes de los mismos; es decir, se debe hacer uso de la experiencia generada de proyectos previos para resolver problemas en el futuro, lo cual indica que esa información debe ser guardada, conservada y administrada.

La segunda variable en el modelo se refiere al acceso que se tiene a la información por parte de los usuarios y que debe ser administrada por los líderes de los proyectos de mejoramiento continuo y de calidad. Así pues, esta variable busca medir la facilidad con que los usuarios pueden acceder a esa información, la rapidez con que lo hacen, el acceso a los medios en los cuales se encuentra disponible, acceso a información de otros departamentos y las regulaciones y estandarizaciones que se tienen para el uso de la información.

Como respuestas en este modelo se tienen los beneficios de la calidad; es decir como, cómo se reduce el tiempo de ciclo del producto, la cantidad de desperdicios y retrocesos, cumplimiento de estándares de calidad de nivel global y la reducción de quejas por parte del cliente. Finalmente, debe entenderse que el mayor beneficio que puede ofrecer la calidad obtenida a través de SS es con mayor ingreso económico y por ello los beneficios económicos son la variable dependiente en este modelo, la cual se mide a través de la reducción de costos de producción, el retorno de las inversiones realizadas y el incremento de las ventas.

El modelo está integrado por cinco hipótesis que son validadas mediante la técnica de modelado de ecuaciones estructurales con un enfoque en mínimos cuadrados parciales. Dichas hipótesis son válidas con información de 301 respuestas a un cuestionario aplicado a la industria maquiladora de Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua (México).

Los resultados indican que la coordinación del conocimiento generado a través de proyectos de SS tiene un efecto directo y positivo sobre el acceso a la información que se genera y esta es una de las relaciones más altas que se tienen. de la misma manera, la coordinación de ese conocimiento y el acceso a la información tienen un efecto directo sobre los beneficios de calidad que obtienen las empresas maquiladoras y puede explicar hasta el 46.7% de su variabilidad. Otro efecto importante que se ha encontrado es la relación que existe entre los beneficios de calidad y los beneficios económicos de esas empresas, ya que junto con el acceso a la información pueden explicar hasta el 75.6% de su variabilidad.

De la misma manera, será encontrado que niveles altos de coordinación del conocimiento pueden generar niveles altos de acceso a la información; sin embargo, niveles bajos de coordinación no se asocian con niveles altos de acceso a la información, con calidad del producto terminado o con beneficios económicos para la empresa. En conclusión, la información generada de los proyectos de SS debe ser debidamente utilizada para garantizar calidad en los productos y mayores ingresos para las empresas.

También, se han encontrado que altos niveles de acceso a la información generada es vital para que las empresas alcancen los índices de calidad que requieren y como consecuencia mayores beneficios económicos. Sin embargo, niveles bajos en el acceso a la información representa un alto riesgo para que se obtengan esos beneficios de calidad y económicos.

3.3 Artículo 2. Effect of quality lean manufacturing tools on commercial ...

García-Alcaraz, J. L., Martínez-Hernández, F. A., Olguín-Tiznado, J. E. O., Realyvasquez-Vargas, A., Jiménez Macías, E., & Javierre-Lardies, C. (2021). Effect of quality lean manufacturing tools on commercial benefits gained by Mexican maquiladoras. *Mathematics*, 9(9). doi:10.3390/math9090971. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q1 en la categoría de Mathematics (24/330) en el JCR 2020, con IF de 2.258 y con JIF de 92.88. La Figura 3.2 ilustra una imagen en la que se demuestran los índices y métricas de la revista.

Este segundo artículo parece ser una continuación del anterior, donde ya se ha demostrado que la calidad es un antecedente para obtener beneficios económicos o comerciales. En este artículo se analizan tres herramientas de ME que dan soporte al pilar de calidad en ésta, las cuales tienen un rol de variables independientes y que explican los beneficios comerciales que pueden obtenerse como variable dependiente.

Las cuatro variables se integran en un MEE y se relacionan mediante seis hipótesis. En este caso, la primera variable es control total de la calidad y se enfoca en determinar si la empresa logra satisfacer las necesidades de sus clientes involucrando a sus empleados, si las decisiones tomadas se hacen en base a análisis de datos, si existen programas de calidad desde la proveeduría de materia prima hasta la entrega final al cliente y sobre todo, que exista un involucramiento de la alta gerencia.

La segunda variable que se analiza en el modelo es el hacer bien las cosas a la primera vez, la cual se mide por el nivel de entrenamiento enfocado a calidad que se les da a los empleados, el nivel de cumplimiento que se tienen con los estándares, la existencia de protocolos para realizar auditorías de calidad y procedimientos para prevenir la generación de defectos en los productos.

La tercera variable se refiere a los desperdicios que son generados a través de procesos de producción y se mide a través de la identificación de averías a lo largo de toda la cadena de suministro, la capacidad para reducir los desperdicios, la cantidad de reproceso realizado y el enfoque que tienen las empresas para reducir el transporte que no agrega ningún valor al producto final.

La cuarta variable son los beneficios comerciales y económicos que obtienen las empresas por aplicar las tres herramientas de ME antes mencionadas. Esta variable se mide por la reducción que se tiene en el costo de materias primas, el crecimiento promedio y el retorno de la inversión que ha obtenido la empresa, así como la reducción y optimización en el uso de la energía.

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

2.258

[View calculation](#)

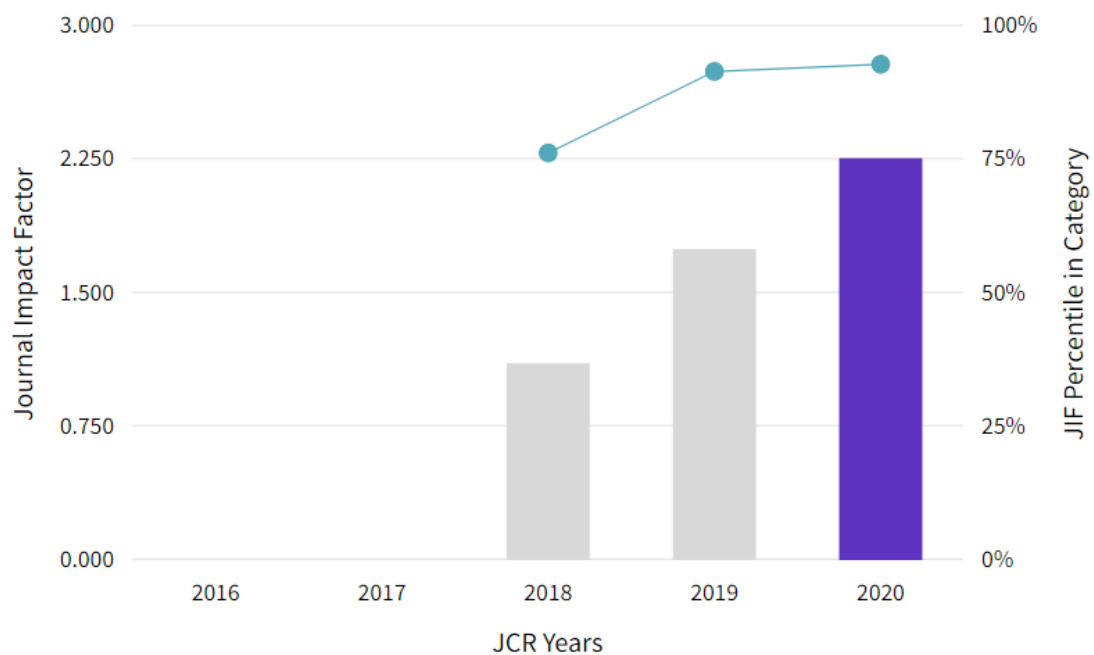
JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

1.835

[View calculation](#)

Journal Impact Factor Trend 2020

[Export](#)



EDITION
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY
MATHEMATICS
24/330

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	24/330	Q1	92.88
2019	28/325	Q1	91.54
2018	75/314	Q1	76.27

Figura 3.2 Factor de impacto de Mathematics

Fuente: Journal Citation Reports 2020

Los resultados obtenidos indican que los programas de control total de la calidad tienen un efecto directo y positivo sobre los programas enfocados en hacer bien las cosas a la primera vez, los desperdicios y los beneficios comerciales que obtienen las empresas maquiladoras. Sin embargo, la relación directa más alta es la que se encuentra con la variable desperdicios; es decir, la calidad también ayuda y da soporte a la eliminación de desperdicios que es el principal enfoque de ME.

También, el tener programas enfocados hacer bien las cosas a la primera vez tienen un efecto directo y positivo sobre los desperdicios y los beneficios comerciales que obtienen las empresas. Sin embargo, el mayor efecto se encuentra con los desperdicios; es decir, hacer los programas enfocados a hacer bien las cosas a la primera vez disminuyen los reprocesos de productos, uso de energías y recursos disponibles en general. En conclusión, este artículo demuestra la importancia que tienen las herramientas de ME en el pilar de calidad para generar beneficios comerciales y económicos para las empresas.

3.4 Artículo 3. Lean manufacturing tools applied to material flow ...

García-Alcaraz, J.L., Díaz Reza, J.R., Sánchez Ramírez, C., Limón Romero, J., Jiménez Macías, E., Lardies, C. J., & Rodríguez Medina, M. A. (2021). Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. *Sustainability* (Switzerland), 13(19). doi:10.3390/su131910599. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q2 o Q3 según la categoría en la que se analice en el JCR 2020, con un IF de 3.251. La Figura 3.3 ilustra una imagen con el factor de impacto de la revista y con otras métricas asociadas a las categorías en las que se encuentra indexada.

Este artículo se enfoca en cuantificar cómo el flujo de materia prima a través de una línea de producción y su transporte, pueden afectar la sustentabilidad económica de las empresas maquiladoras. Para ello, las variables independientes son una combinación de herramientas asociadas al flujo de materiales en la casa de ME así como de la base. Las variables son 5S como variable independiente inicial dado que se encuentra en la base, SMED y flujo continuo en el pilar de flujo de materiales y la variable dependiente es la sustentabilidad económica.

Las variables se integran en un MEE y se relacionan mediante seis hipótesis que son validadas con información obtenida 169 respuestas a una encuesta aplicada a la industria maquiladora establecida en Ciudad Juárez. Se usa la técnica de mínimos cuadrados parciales para cuantificar la dependencia entre las variables analizadas.

Los resultados indican que 5S es una herramienta clave en la mejora continua de los flujos de producción y que facilita la aplicación de SMED; además, tiene una relación directa con la sustentabilidad económica que alcanzan estas empresas. Lo anterior se debe al orden y estandarización que se requiere al implementar 5S, lo que facilita realizar cambios rápidos en las líneas de producción, evitando con ello el paro de estas, lo que representa un flujo continuo. Es importante mencionar que 5S tiene una alta relación con SMED, ya que tiene el más alto valor de dependencia.

También, se observa que SMED tiene un efecto directo sobre el flujo continuo y la sustentabilidad económica de las empresas maquiladoras. Lo anterior indica que, al realizar cambios rápidos en los sistemas de producción, se mantiene el flujo continuo de los mismos. Sin embargo, al revisar los índices de dependencia, se observa que SMED se relaciona mucho más con el flujo continuo que con la sustentabilidad económica. Finalmente, se observa que el flujo continuo tiene un efecto directo y positivo sobre la sustentabilidad económica de las empresas y de hecho, de las tres variables que la impactan, El flujo continuo es la que lo hace en mayor medida.

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

3.251

[View calculation](#)

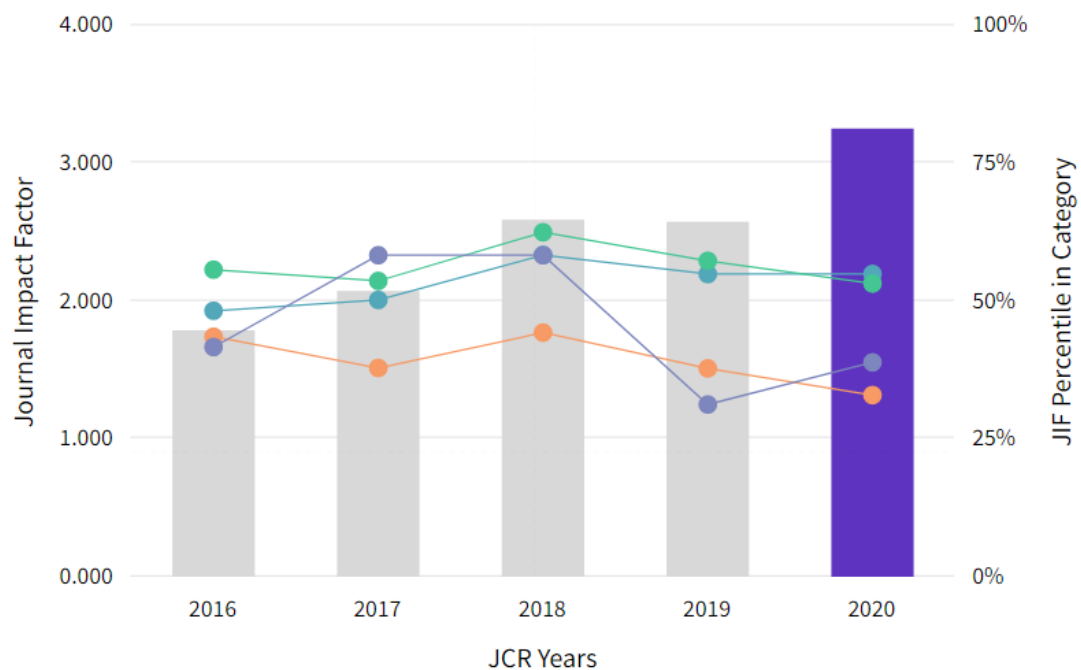
JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.355

[View calculation](#)

Journal Impact Factor Trend 2020

[Export](#)



EDITION
Social Sciences Citation Index (SSCI)

CATEGORY
ENVIRONMENTAL STUDIES
59/125

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	59/125	Q2	53.20
2019	53/123	Q2	57.32
2018	44/116	Q2	62.50

EDITION
Social Sciences Citation Index (SSCI)

CATEGORY
GREEN & SUSTAINABLE SCIENCE & TECHNOLOGY
6/9

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	6/9	Q3	38.89
2019	6/8	Q3	31.25
2018	3/6	Q2	58.33

Figura 3.3 Factor de impacto de Sustainability

Fuente: Journal Citation Reports 2020

De análisis de sensibilidad realizada para diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia de las variables analizadas, se concluye que altos niveles en la aplicación de 5S facilitan la implementación de SMED y del flujo continuo, lo que se ve asociado a altos niveles de sustentabilidad económica. Sin embargo, bajos niveles de 5S son un riesgo para la implementación de SMED, del flujo continuo y la sustentabilidad económica.

De manera similar, altos niveles implementación de SMED Favorecen la implementación del flujo continuo en las líneas de producción; además, son una garantía de la sustentabilidad económica. Sin embargo, niveles bajos de SMED representan un alto riesgo para las empresas, ya que no se puede lograr el flujo continuo y garantizar su sustentabilidad económica. Además, bajos niveles de SMED no se asocian con altos niveles del flujo continuo y la sustentabilidad. En conclusión, las herramientas asociadas al flujo de materiales en ME, garantizan la sustentabilidad económica de las empresas.

3.5 Artículo 4. Effects of Information Sharing, Decision Synchronization ...

García-Alcaraz, J. L., Díaz-Reza, J. R., Flor Montalvo, F. J., Jiménez-Macías, E., Blanco-Fernández, J., & Javierre Lardies, C. F. (2021). Effects of information sharing, decision synchronization and goal congruence on SC performance. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107744. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107744>. Indexada en SCIE del Web of Sciences, siendo Q1 o Q2 según la categoría en la que se analice en el JCR 2020, con un IF de 5.431. La Figura 3.4 ilustra una imagen en la que se indica el factor de impacto y las métricas de la revista.

Este artículo presenta un MEE para analizar el desempeño que tiene la cadena de suministro de la industria maquiladora, dada el alto volumen de importaciones y exportaciones que tiene este sector. En el modelo se asume que la congruencia de las metas de todos los involucrados en la cadena de suministro es de vital importancia y por ello esta variable es la independiente. Sin embargo, también se asume que se requiere una alta sincronización en la toma de decisiones de manera simultánea y para ello debe existir un alto nivel de intercambio de información.

Para medir la congruencia de las metas en esta investigación se analiza el nivel de acuerdo que tienen los integrantes de la cadena de suministro, el nivel de colaboración entre ellos, el nivel de importancia que se les da a los objetivos mutuos, nivel de trabajo colaborativo que realizan de manera externa e interna.

El nivel de intercambio de información es de vital importancia para la industria maquiladora, dado que muchos de sus clientes y proveedores se encuentran fuera de México y se realiza un alto flujo de información y de recursos monetarios entre los integrantes de la cadena de suministro. esta variable se mide por el nivel de intercambio de información crítica que tienen los integrantes, tales como pronósticos de la demanda, información proporcionada a tiempo, completa y de manera exacta, así como el nivel de intercambio de información que tienen con otros departamentos.

2020 JOURNAL IMPACT FACTOR

5.431

[View calculation](#)

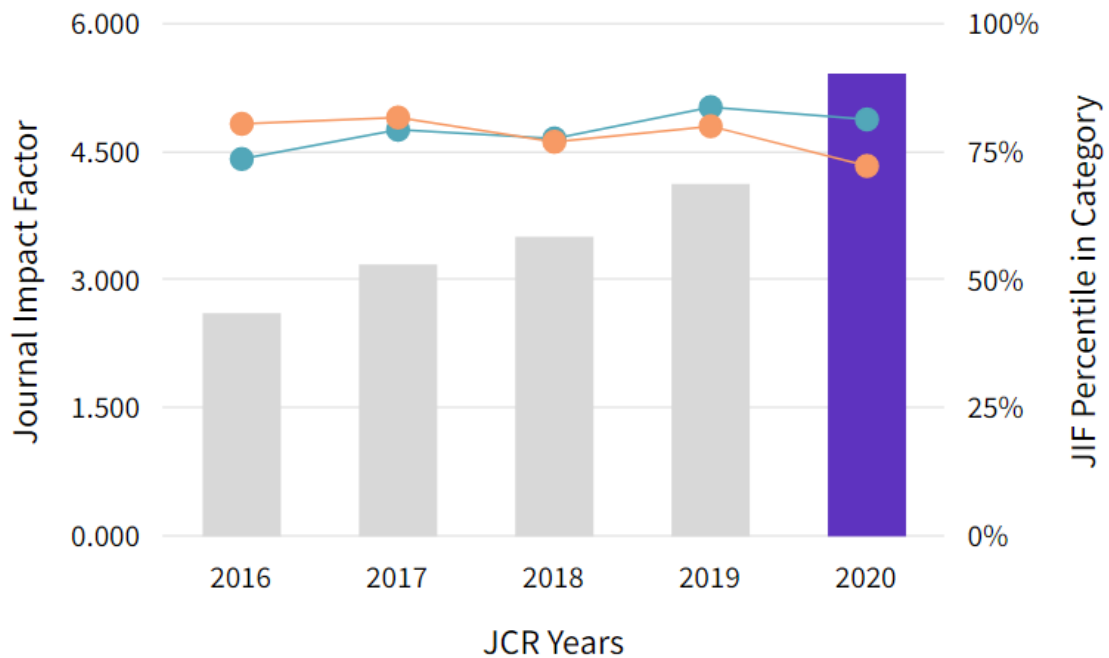
JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

4.728

[View calculation](#)

Journal Impact Factor Trend 2020

↓ Exp



EDITION
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY
ENGINEERING, INDUSTRIAL
14/49

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	14/49	Q2	72.45
2019	10/48	Q1	80.21
2018	11/46	Q1	77.17
2017	9/47	Q1	81.91

EDITION
Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY
COMPUTER SCIENCE, INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS
21/111

JCR YEAR	JIF RANK	JIF QUARTILE	JIF PERCENTILE
2020	21/111	Q1	81.53
2019	18/109	Q1	83.94
2018	24/106	Q1	77.83

Figura 3.4 Factor de impacto de Computers and Industrial Engineering

Fuente: Journal Citation Reports 2020

En relación a la sincronización de las decisiones, esto se refiere a como realizan los integrantes de la cadena de suministro eventos y planes de manera conjunta, desarrollo de planes y programas asociados al pronóstico de la demanda, administración

de inventarios y sobre todo, que trabajen de manera conjunta en la solución de problemas que dificulten un flujo continuo de los productos.

Finalmente, el desempeño de la cadena de suministro está enfocado a determinar métricas que ayuden a conocer la eficiencia que ésta tiene; por ejemplo, la cantidad de entregas realizadas a los clientes de manera completa y a tiempo, el nivel de satisfacción de los clientes y número de reclamos, que el tiempo de ciclo sea pequeño, el enfoque que se le da a la reducción de costos, la visibilidad y trazabilidad de los productos a lo largo de la cadena de suministro, y el nivel de personalización que se le da a los productos.

Las cuatro variables se relacionan por medio de un MEE y seis hipótesis, las cuales son validadas con información de 143 respuestas obtenidas de una encuesta aplicada a la industria maquiladora de Ciudad Juárez (Chihuahua, México).

Los resultados indican que la congruencia en las metas entre los integrantes de la cadena de suministro tiene un efecto directo y positivo en la sincronización de las decisiones, el intercambio de información y el desempeño de esta. Sin embargo, La relación que más fuerte que esta variable tiene es con el intercambio de información y puede explicar hasta el 59.2% de su variabilidad.

De la misma manera, se ha encontrado que el intercambio de la información facilita la sincronización de la toma de decisiones entre los integrantes de la cadena de suministro, pero no existe evidencia estadística de que se relacione de manera directa con el desempeño de la misma; sino que más bien su efecto es indirecto. finalmente, se observa que la sincronización de las decisiones tiene un efecto directo y positivo sobre el desempeño de dicha cadena de suministro.

De un análisis de sensibilidad, se ha encontrado que la sincronización de metas es un facilitador del intercambio de información, nivel de sincronización de las decisiones y del desempeño de la cadena de suministro. Sin embargo, Si no existe congruencia en las metas entre los integrantes, se corre el riesgo de obtener niveles bajos en todas las demás variables.

También, se observa que el intercambio de información es un facilitador directo de la sincronización de decisiones y el desempeño de la cadena de suministro, pero niveles bajos en esa variable también representan niveles bajos en las subsecuentes, lo que representa un riesgo administrativo.

En conclusión, este artículo demuestra la importancia que tiene es llegar a tener metas congruentes entre todos los integrantes de la cadena de suministro para facilitar el intercambio de información, sincronización de las decisiones de manera rápida y eficiente que pueda transformarse en un mejor desempeño de esta.

4. Conclusiones generales

En base a los resultados obtenidos de los cuatro artículos aquí reportados, se concluye lo siguiente:

1. El acceso a la información generada en proyectos de previos de seis sigma es vital para generar beneficios de calidad y económicos en la industria maquiladora, lo que se ve reflejado en un menor costo de producción y baja tasa de desperdicios y reprocesos de productos defectuosos.
2. La calidad obtenida en los productos a través de programas de seis sigma es esencial para garantizar los beneficios económicos, ya que eso implica una menor cantidad de desperdicios asociados a reprocesos, tiempos muertos de maquinaria con averías, entre otras.
3. Las herramientas asociadas a la calidad en manufactura esbelta garantizan la sustentabilidad económica de las empresas maquiladoras. Sin embargo, debe analizarse el impacto ambiental de las mismas, ya que menos desperdicios significa una optimización de recursos materiales y energía.
4. Programas de calidad total, hacer las actividades bien a la primera vez y disminución de desperdicios se transforman en mejores beneficios comerciales en las industrias maquiladoras, así como una mayor reputación en los mercados locales, nacionales e internacionales, incrementando los niveles de sentido de pertenencia por parte de los trabajadores.
5. La disminución de desperdicios es la variable que mejor explica los beneficios comerciales de las empresas maquiladoras, ya que eso representa una reducción de costos por materias primas y energía.
6. Los programas de calidad total son un antecedente a los enfocados a hacer las actividades bien a la primera vez y disminución de desperdicios, los cuales a su vez anteceden a los beneficios comerciales. Es decir, se deben tener programas de aseguramiento de la calidad que busquen generar una conciencia en los recursos humanos para que sean capaces de generar calidad sin supervisión y lo hagan de manera autónoma.
7. La limpieza y orden de los lugares de trabajo facilitan la implementación de cambios rápidos y disminuyen el tiempo improductivo de máquinas y herramientas. Es decir, si las herramientas que se requieren para realizar un trabajo están en su lugar asignado, en orden y de manera oportuna, los operadores no deben gastar su tiempo en buscarlas, identificarlas e iniciar sus actividades.
8. Los cambios rápidos en líneas de producción garantizan el flujo continuo de la misma, pero también incrementan el nivel de satisfacción de los empleados al cumplir con las cuotas de producción planeadas. Es decir, mejorar los índices de eficiencia de las líneas de producción también genera un impacto social en los trabajadores e incrementa el sentido de pertenencia de los mismos.

9. El flujo continuo de las líneas de producción y la disminución de tiempos muertos en máquinas y herramientas garantizan la sustentabilidad económica, ya que eso indica que no hay averías a lo largo del sistema productivo.
10. La sincronización de las metas entre los integrantes de una cadena de suministro garantiza su desempeño, ya que todos saben lo que se debe hacer y en que momento debe ocurrir.
11. Compartir información entre integrantes de la cadena de suministro facilita la sincronización de la toma de decisiones, agiliza la respuesta a los clientes y disminuye el tiempo de ciclo.
12. Si no existe una sincronización de metas en la que se comparta información entre los integrantes de la cadena de suministro, su desempeño se ve altamente comprometido.

5. Trabajos en curso y futuros

Como se ha mencionado anteriormente, en esta etapa investigación y para obtener el grado de Doctor en Mecánica por la Universidad de Zaragoza, se reportan artículos de una primera etapa planeada de manera colectiva con otros integrantes de la ROPRIN y que está siendo aplicada a la industria maquiladora de Ciudad Juárez en México. Sin embargo, es conveniente mencionar trabajos que ya se han hecho, los cuales se han escrito, pero que aun no se encuentran publicados, así como aquellos que se planea hacer. A continuación, se mencionan dichos trabajos.

5.1 Trabajos realizados o en curso

Actualmente se tienen tres artículos enviados y que se encuentran en proceso de revisión, los cuales son los siguientes:

- a. ESPR-D21-10790. Effect of lean manufacturing tools on social, environmental, and economic performance sustainability. Environmental Science and Pollution Research.

Este artículo presenta un modelo de ecuaciones estructurales de segundo orden donde se analizan un total de ocho herramientas de manufactura esbelta integradas a su vez en tres variables, las cuales se asume que son independientes y en base al nivel de implementación que se tenga de ellas, se tendrá un impacto en la sustentabilidad ambiental, sustentabilidad social y finalmente, la sustentabilidad económica como variable dependiente final. La Figura 5.1 ilustra el modelo propuesto.

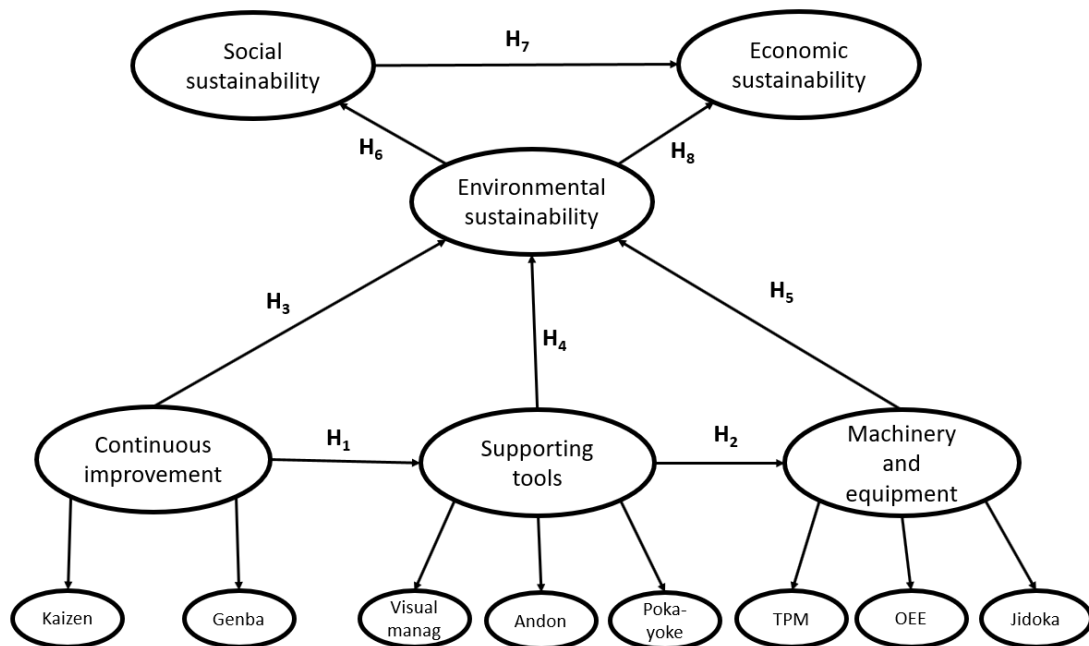


Figura 5.1 Modelo propuesto - ESPR-D21-10790

Este modelo asume que el mejoramiento continuo obtenido a través de herramientas como kaizen y gemba representan la iniciativa que toda empresa debe tener en sus procesos productivos, las cuales impactan directamente a herramientas de soporte integradas por la administración visual, andon y poka-yoke, que a su vez son impactadas por herramientas asociadas a la maquinaria y equipo, tales como el mantenimiento productivo total, los índices de eficiencia de la maquinaria y equipo, así como jidoka. Todas esas herramientas aplicadas a las líneas de producción afectan de manera directa la sustentabilidad ambiental, la cual impacta a su vez a la sustentabilidad social y económica.

Sin embargo, debe mencionarse que este modelo se ha planeado de esa manera para facilitar su comprensión, ya que es posible que programas de mejoramiento continuo impacten a la sustentabilidad económica de manera directa y que también las herramientas asociadas a maquinaria y equipo impacten a la sustentabilidad social de las empresas al reducir el número de accidentes y el bienestar de los operadores de esta.

- b. JAMT-S-05587. MACHINERY-ASSOCIATED LEAN MANUFACTURING TOOLS AND THEIR EFFECT ON SUSTAINABILITY. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

Este modelo podría considerarse una continuación del anterior que aparece en el primer artículo, ya que descompone las herramientas asociadas a maquinaria y equipo en sus componentes y analiza de manera directa su relación con los tres tipos de sustentabilidad. En el modelo se presentan tres variables latentes independientes, las cuales son el mantenimiento productivo total, jidoka, y los índices de eficiencia de los equipos, las cuales se asume que tienen un efecto directo sobre la sustentabilidad ambiental al reducir el número de desperdicios y reprocesos que deben realizarse, pero también en la sustentabilidad económica en segundo término. El modelo se ilustra en la Figura 5.2.

Este modelo asume que el mantenimiento productivo total tiene un impacto directo sobre la sustentabilidad social, ya que existen menos accidentes y desperdicios al procesar la materia prima, debido principalmente a los niveles de calibración y ajuste que tienen las máquinas, lo que a su vez incrementa los niveles de satisfacción de los trabajadores.

También, se asume que los índices de eficiencia de los equipos tienen un efecto directo sobre la sustentabilidad económica, ya que, si la maquinaria ofrece productos terminados con calidad y en apego a las especificaciones técnicas y está disponible, pero además tienen alta disponibilidad y desempeño, eso indica que los sistemas productivos son continuos y representa mayores ingresos para las empresas.

En este modelo se asume además que la sustentabilidad social y sustentabilidad ambiental son antecedentes de la sustentabilidad económica de las empresas; es decir, las empresas económicamente estables deben enfocarse en aspectos ambientales y sociales al interior y exterior de la misma.

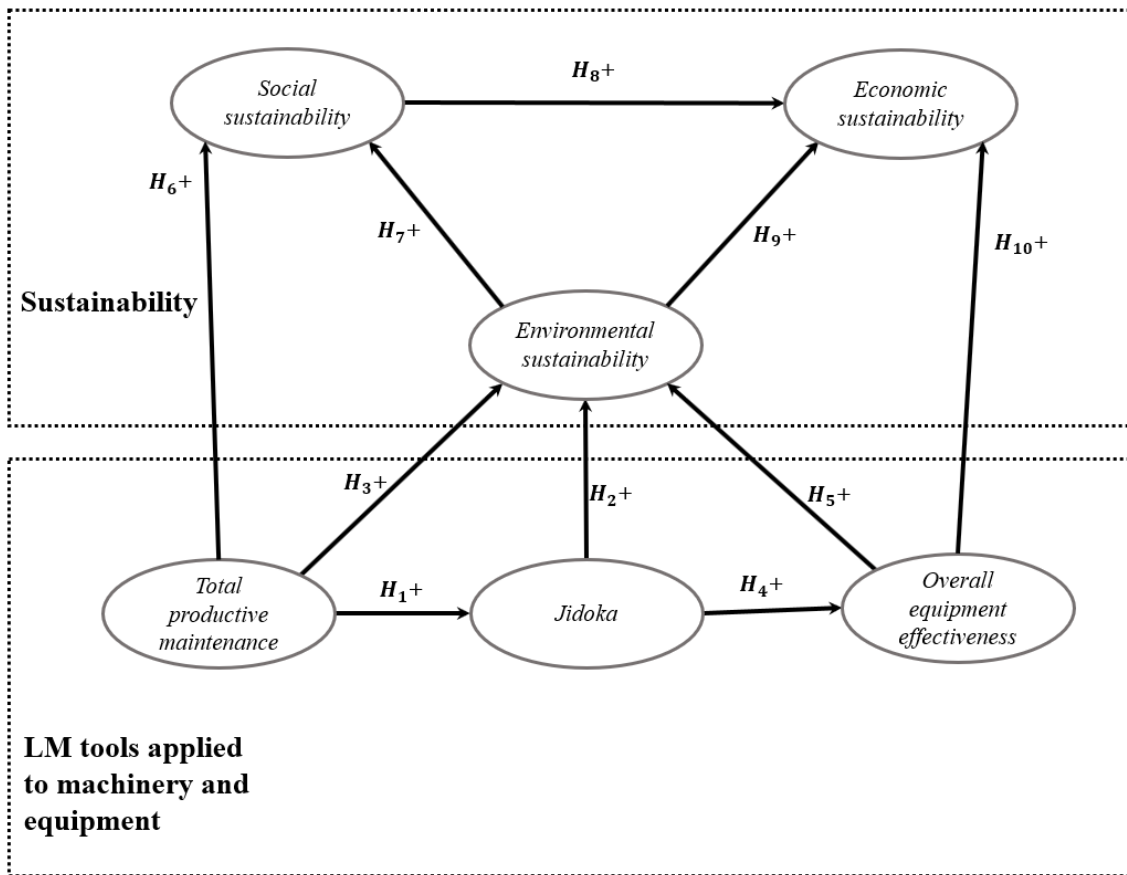


Figura 5.2 Modelo propuesto - JAMT-S-05587

- c. EMAS-D-21-04360. Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies. Environmental Monitoring and Assessment. Este modelo cuenta con cuatro variables independientes, las cuales son el sistema de administración ambiental, el diseño ecológico, la reducción de desperdicios en la fuente y la administración ambiental externa, las cuales se asume que afectan a los impactos y la reducción de costos ambientales, tal como se ilustra en la Figura 5.3.

Este modelo propone que los impactos ambientales pueden reducirse en la fuente; es decir, con una buena estrategia de gestión ambiental en la cual se deben diseñar los productos con un enfoque ecológico y siempre buscando las materias primas más amigables con el medio ambiente. Los resultados que se obtienen de esas actividades se deben ver reflejados en una mejor administración de los impactos ambientales y en una reducción de costos por los mismos.

Esas mismas variables también se analizan en un modelo de segundo orden, donde las cuatro variables independientes se agrupan en una tercera a la que se llama estrategia de cadena de suministro verde, la cual tiene una relación directa con los impactos ambientales y ambas, a su vez tienen un efecto directo sobre los costos ambientales relacionados con los procesos de producción, la cual es la variable de respuesta.

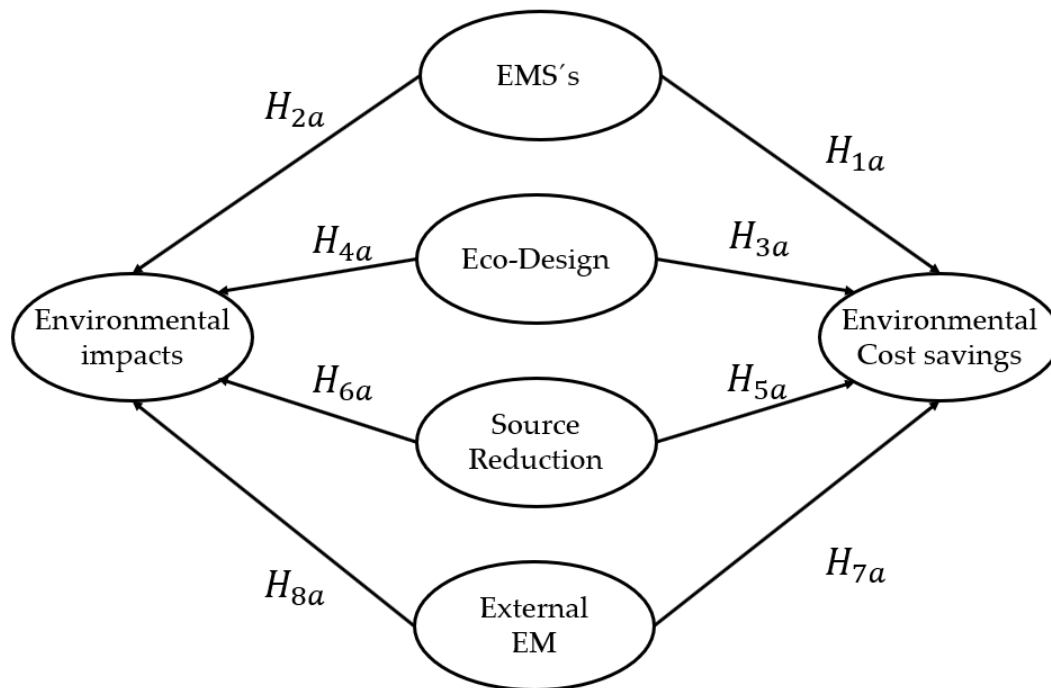


Figura 5.3 Modelo propuesto - EMAS-D-21-04360

Sin embargo, también se tienen en cursos dos tesis en el programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Avanzada de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, las cuales se explican brevemente a continuación:

1. Análisis de ciclo de vida del sotol. Se hace uso de la metodología de análisis de ciclo de vida para determinar los impactos asociados a la producción de sotol, un bebida nativa del estado de Chihuahua en México y se tiene convenio con una empresa sotolera para la obtención de datos primarios. El alumno que la está realizando es el MII. Juan Manuel Madrid Solórzano, quien se encuentra en cursando el cuarto semestre y dentro de su comité se encuentran profesores de la Universidad de La Rioja.
2. Análisis de ciclo de vida del Tequila. Se hace uso de la metodología de análisis de ciclo de vida para determinar el impacto ambiental en el proceso de producción de esa bebida clásica y típica mexicana. Se tiene convenio con dos empresas tequileras de Arandas en Jalisco (México) para obtener los datos primarios y el alumno que se encuentra realizando esa investigación es el MII. Adrián Salvador Morales García. De la misma manera, en su comité se han integrado profesores de la Universidad de La Rioja y de la Universidad de Navarra.

Asimismo, existe una alumna realizando una tesis sobre análisis de ciclo de vida social (S-LCA) del programa de maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, misma que se detalla a continuación:

1. Análisis de ciclo de vida social en trabajadores de la línea de producción X3-22 de Yasaki. Esta tesis está enfocada a desarrollar un S-LCA en trabajadores de una línea de producción de arneses automotrices, donde los cambios de modelo se

realizan hasta cuatro veces por semana y no hay continuidad en el sistema de producción y muchas veces, las curvas de aprendizaje deben ser demasiado cortos. La alumna que realiza esta investigación es Marcela Ivonne Delgado Armendáriz, quien cursa el segundo semestre y en su comité tutorial participan investigadores de la Universidad de Zaragoza y de la Universidad de La Rioja.

5.2 Trabajos futuros

Los trabajos futuros y que son una continuación de esta primera etapa se enfocan básicamente en dos aspectos:

1. Mejoramiento de procesos de producción en la industria maquiladora mediante análisis de ciclo de vida, ya que como se ha mencionado anteriormente, se tienen reglamentaciones ambientales, pero se sabe poco sobre el efecto que se genera en el entorno. El mayor problema que se tiene es que casi siempre los ajustes a los procesos de producción se hacen en base a índices operativos y de productividad, sin integrar los aspectos ambientales.
2. Mejoramiento de condiciones de trabajo mediante la aplicación de análisis de ciclo de vida social en los trabajadores de la industria maquiladora de Ciudad Juárez, ya que, de acuerdo con un informe de la Organización Mundial de la Salud, México es el país con mayor estrés laboral del mundo, seguido por China y Estados Unidos de América.
3. Se buscará relacionar la aplicación de herramientas de manufactura esbelta con el análisis de ciclo de vida de los procesos industriales, buscando que ese tipo de herramientas también sean facilitadoras de un mejor impacto ambiental y no solamente con índices operativos y productivos.

Referencias

- Abed, A. M., Elattar, S., Gaafar, T. S., y Alrowais, F. (2020). Artificial poka-yoke increases process reliability via a hybrid of the neural network with arima results. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10(2), 931-954. doi:10.24247/ijmperdapr202092
- Ahuja, I. P. S., y Khamba, J. S. (2008). An evaluation of TPM initiatives in Indian industry for enhanced manufacturing performance. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(2), 147-172. doi:10.1108/02656710810846925
- Ahuja, I. P. S., y Khamba, J. S. (2009). Investigation of manufacturing performance achievements through strategic total productive maintenance initiatives. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 4(2), 129-152. doi:10.1504/IJPQM.2009.023184
- Aly, N., y Schloss, D. (2003). Assessing quality management systems of Mexico's maquiladoras. *TQM Magazine*, 15(1), 30-36. doi:10.1108/09544780310454420
- Amani, P., Lindbom, I., Sundström, B., y Östergren, K. (2015). Green-Lean Synergy - Root-Cause Analysis in Food Waste Prevention. *International Journal on Food System Dynamics*, 6(2), 99-109. doi:10.18461/ijfsd.v6i2.623
- Ani, C., Norzaimi, M., Kamaruddin, Shahrul, Azid, A., y Ishak. (2018). *Analysis of the effective production Kanban size with triggering system for achieving just-in-time (JIT) production.*
- Arredondo-Soto, K. C., Cruz-Castillo, M. S., Carrillo-Gutierrez, T., Solis-Quinteros, M., y Avila-Lopez, L. A. (2018). *Calibration system for cost reduction: A case study in the Maquiladora industry.*
- Asamoah, D., Agyei-Owusu, B., Andoh-Baidoo, F. K., y Ayaburi, E. (2020). Inter-organizational systems use and supply chain performance: Mediating role of supply chain management capabilities. *International Journal of Information Management*, 102195. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2020.102195
- Auricchio, M., Bracewell, R., y Hooey, B. L. (2016). Rationale mapping and functional modelling enhanced root cause analysis. *Safety Science*, 85, 241-257. doi:10.1016/j.ssci.2015.12.022
- Bao, L., Zhang, G., Hu, X., Wu, S., y Liu, X. (2021). Stage division of landslide deformation and prediction of critical sliding based on inverse logistic function. *Energies*, 14(4). doi:10.3390/en14041091
- Bennett, J. A., Campbell, Z. S., y Abolhasani, M. (2019). Role of continuous flow processes in green manufacturing of pharmaceuticals and specialty chemicals. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 26, 9-19. doi:10.1016/j.coche.2019.07.007
- Bhise, D., Singh, H. K., y Kishan. (2014). Attaining manufacturing sustainability through cycle time reduction: A case study. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(10 SPEC. ISSUE), 1211-1218.
- Brown, A., Amundson, J., y Badurdeen, F. (2014). Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: Application case studies. *Journal of Cleaner Production*, 85, 164-179. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.101
- Caiado, R., Nascimento, D., Quelhas, O., Tortorella, G., y Rangel, L. (2018). Towards sustainability through green, lean and six sigma integration at service industry: Review and framework. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1659-1678. doi:10.3846/tede.2018.311910.3846/tede.2018.3119

- Cakmakci, M., y Karasu, M. K. (2007). Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(3-4), 334-344. doi:10.1007/s00170-006-0466-x
- Carrera, J. F., Del Olmo, A. A., Cuadrado, M. R., Escudero, M. M. E., y Cuadrado, L. R. (2021). From lean 5s to 7s methodology implementing corporate social responsibility concept. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). doi:10.3390/su131910810
- Cercós, M. P., Calvo, L. M., y Domingo, R. (2019). *An exploratory study on the relationship of overall equipment effectiveness (OEE) variables and CO2 emissions.*
- Chen, Z., y Bidanda, B. (2019). Sustainable manufacturing production-inventory decision of multiple factories with JIT logistics, component recovery and emission control. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 356-383. doi:10.1016/j.tre.2019.06.013
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Hurley, B., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Anosike, A., y Batista, L. (2019). Green and lean: a Gemba-Kaizen model for sustainability enhancement. *Production Planning and Control*, 30(5-6), 385-399. doi:10.1080/09537287.2018.1501808
- Dallinger, D., y Kappe, C. O. (2017). Why flow means green – Evaluating the merits of continuous processing in the context of sustainability. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 7, 6-12. doi:10.1016/j.cogsc.2017.06.003
- De Vries, H., y Van der Poll, H. M. (2018). Cellular and organisational team formations for effective Lean transformations. *Production and Manufacturing Research*, 6(1), 284-307. doi:10.1080/21693277.2018.1509742
- Delmonico, D., Jabbour, C. J. C., Pereira, S. C. F., de Sousa Jabbour, A. B. L., Renwick, D. W. S., y Thomé, A. M. T. (2018). Unveiling barriers to sustainable public procurement in emerging economies: Evidence from a leading sustainable supply chain initiative in Latin America. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 70-79. doi:10.1016/j.resconrec.2018.02.033
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., Martínez-Loya, V., Blanco-Fernández, J., Jiménez-Macías, E., y Avelar-Sosa, L. (2016). The effect of SMED on benefits gained in maquiladora industry. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12). doi:10.3390/su8121237
- Díaz-Reza, José, García-Alcaraz, Jorge, Avelar-Sosa, Liliana, Mendoza-Fong, José, Sáenz Diez-Muro, Juan, y Blanco-Fernández, Julio. (2018). The Role of Managerial Commitment and TPM Implementation Strategies in Productivity Benefits. *Applied Sciences*, 8(7), 1153. doi:10.3390/app8071153
- Díaz-Reza, José Roberto, García-Alcaraz, Jorge Luis, Mendoza-Fong, José Roberto, Maldonado-Macías, Aidé Aracely, y Sánchez-Ramírez, Cuauhtémoc. (2020). The Role of Information Sharing in the Supply Chain From Maquiladoras in Northern Mexico. In García-Alcaraz Jorge Luis, Jamil George Leal, Avelar-Sosa Liliana, & Peñalver Antonio Juan Briones (Eds.), *Handbook of Research on Industrial Applications for Improved Supply Chain Performance* (pp. 175-199). Hershey, PA, USA: IGI Global.
- Domingo, R., y Aguado, S. (2015). Overall environmental equipment effectiveness as a metric of a lean and green manufacturing system. *Sustainability (Switzerland)*, 7(7), 9031-9047. doi:10.3390/su7079031

- Donders, I., y Barriocanal, C. (2020). The influence of markets on the nutrition transition of hunter-gatherers: Lessons from the western amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 1-17. doi:10.3390/ijerph17176307
- Dowlatshahi, S. (1998). The role of purchasing and TQM in the Maquiladora Industry. *Production and Inventory Management Journal*, 39(4), 42-49.
- Dray, Stéphane, y Josse, Julie. (2015). Principal component analysis with missing values: a comparative survey of methods. *Plant Ecology*, 216(5), 657-667. doi:10.1007/s11258-014-0406-z
- Ebrahimi, A., Khakpour, R., y Saghiri, S. (2021). Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing. *Production Planning and Control*. doi:10.1080/09537287.2021.1916637
- Esa, F., y Yusof, Y. (2016). Implementing overall equipment effectiveness (OEE) and sustainable competitive advantage: A case study of hicom diecastings SDN. BHD. (HDSB). *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 199-203.
- Faeni, R. P. (2017). Characteristic manager, cost efficiency, knowledge creation, knowledge transfer and standardized work on the sustainability of SMEs in the business competition: A study of SMEs in Jakarta, Indonesia. *Advanced Science Letters*, 23(9), 9186-9190. doi:10.1166/asl.2017.10052
- Farooq, Muhammad Shoaib, Salam, Maimoona, Fayolle, Alain, Jaafar, Norizan, y Ayupp, Kartinah. (2018). Impact of service quality on customer satisfaction in Malaysia airlines: A PLS-SEM approach. *Journal of Air Transport Management*, 67, 169-180. doi:10.1016/j.jairtraman.2017.12.008
- Faulkner, W., y Badurdeen, F. (2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): Methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 85, 8-18. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.042
- Gandhi, J., Thanki, S., y Thakkar, J. J. (2021). An investigation and implementation framework of Lean Green and Six Sigma (LG&SS) strategies for the manufacturing industry in India. *TQM Journal*. doi:10.1108/TQM-12-2020-0289
- García-Alcaraz, J. L., Díaz Reza, J. R., Sánchez Ramírez, C., Limón Romero, J., Jiménez Macías, E., Lardies, C. J., y Rodríguez Medina, M. A. (2021). Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). doi:10.3390/su131910599
- García-Alcaraz, JL, Maldonado, AA, Alvarado Iniesta, A, Cortes Robles, G, y Alor Hernández, G. (2014). A systematic review/survey for JIT implementation: Mexican maquiladoras as case study. *Computers in Industry*, 65(4), 761-773. doi:10.1016/j.compind.2014.02.013
- García, J. L., Rivera, D. G., y Iniesta, A. A. (2013). Critical success factors for Kaizen implementation in manufacturing industries in Mexico. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(1-4), 537-545. doi:10.1007/s00170-013-4750-2
- García, J. L., Rivera, L., Blanco, J., Jiménez, E., y Martínez, E. (2014). Structural equations modelling for relational analysis of jit performance in maquiladora sector. *International Journal of Production Research*, 52(17), 4931-4949. doi:10.1080/00207543.2014.885143
- Gastelum-Acosta, C., Limon-Romero, J., Tlapa, D., Baez-Lopez, Y., Tortorella, G., Rodriguez Borbon, M. I., y Navarro-Cota, C. X. (2021). Assessing the adoption

- of critical success factors for lean six sigma implementation. *Journal of Manufacturing Technology Management*. doi:10.1108/JMTM-12-2020-0488
- Gey, Dan'Asabe Godwin, Yusuf, Yahaya, Menhat, Masha S., Abubakar, Tijjani, y Ogbuke, Nnamdi J. (2019). Agile capabilities as necessary conditions for maximising sustainable supply chain performance: an empirical investigation. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2019.09.022
- Gingerich, K. (2011). Lean manufacturing and sustainability for medical device manufacturers. *Medical Device and Diagnostic Industry*, 33(8).
- Green, Kenneth W., Sower, Victor E., Zelbst, Pamela J., y Inman, R. Anthony. (2019). Impact of JIT, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 26-47. doi:10.1108/JMTM-01-2018-0015
- Hoffman, Julien I. E. (2019). Chapter 9 - Outliers and Extreme Values. In Julien I. E. Hoffman (Ed.), *Basic Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners* (2 edition ed., pp. 149-155). Boston, MA, USA: Academic Press.
- Hussain, A., Rehman, A. U., Case, K., Masood, T., y Habib, M. S. (2018). *Lean manufacturing culture: The role of human perceptions of standardized work*.
- Hüttmeir, Andreas, de Treville, Suzanne, van Ackere, Ann, Monnier, Léonard, y Prenninger, Johann. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*, 118(2), 501-507. doi:10.1016/j.ijpe.2008.12.014
- Hwang, Gue Hwan, Jeong, Sang Kyu, y Ban, Yong Un. (2016). Causal relationship of eco-industrial park development factors: a structural equation analysis. *Journal of Cleaner Production*, 114, 180-188. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.023
- Iacobucci, Dawn, Posavac, Steven S., Kardes, Frank R., Schneider, Matthew J., y Popovich, Deidre L. (2015). Toward a more nuanced understanding of the statistical properties of a median split. *Journal of Consumer Psychology*, 25(4), 652-665. doi:10.1016/j.jcps.2014.12.002
- IMMEX. (2021a). *Montly statistical information - June 2, 2021*. Retrieved from Ciudad Juárez:
- IMMEX. (2021b). *Montly statistical information - June 4, 2021*. Retrieved from Ciudad Juárez <https://indexjuarez.com/wp-content/uploads/2021/09/4-de-Junio.pdf>
- IMMEX. (2021c). *Montly statistical report - August 13, 2021. Truck Crossings at Juarez Border Bridges*. Retrieved from Ciudad Juárez: <https://indexjuarez.com/wp-content/uploads/2021/09/13-de-agosto-1.pdf>
- IMMEX. (2021d). *Montly statistical report - September 10, 2021. Import and export* Retrieved from Ciudad Juárez: <https://indexjuarez.com/wp-content/uploads/2021/09/10-de-Septiembre.pdf>
- Islam, A. S. M. Touhidul. (2019). End of the day, who is benefited by Lean Manufacturing? A dilemma of communication and pricing in buyer-supplier relationship. *Manufacturing Letters*, 21, 17-19. doi:10.1016/j.mfglet.2019.06.002
- Jahangir, Nadim, Hasin, Ahsan Akhtar, y Bashar, Abul. (2020). Linkage between TPM, people management and organizational performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, ahead-of-print*(ahead-of-print). doi:10.1108/JQME-11-2019-0105

- Jayswal, A., Li, X., Zanwar, A., Lou, H. H., y Huang, Y. (2011). A sustainability root cause analysis methodology and its application. *Computers and Chemical Engineering*, 35(12), 2786-2798. doi:10.1016/j.compchemeng.2011.05.004
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M., y Espinosa, M. D. M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. *Safety Science*, 78, 163-172. doi:10.1016/j.ssci.2015.04.022
- Jun, M., Cai, S., y Peterson, R. T. (2004). Obstacles to TQM Implementation in Mexico's Maquiladora Industry. *Total Quality Management and Business Excellence*, 15(1), 59-72. doi:10.1080/1478336032000149108
- Jun, M., Cai, S., y Shin, H. (2006). TQM practice in maquiladora: Antecedents of employee satisfaction and loyalty. *Journal of Operations Management*, 24(6), 791-812. doi:10.1016/j.jom.2005.09.006
- Kabu, E., y Tira, D. S. (2015). Value chain analysis towards sustainability: A case study of fishery business in Kota Kupang, Indonesia. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 5, 150-156.
- Kairouz, V., y Collins, S. K. (2018). Continuous Flow Science in an Undergraduate Teaching Laboratory: Bleach-Mediated Oxidation in a Biphasic System. *Journal of Chemical Education*, 95(6), 1069-1072. doi:10.1021/acs.jchemed.7b00412
- Khalfallah, Meriem, y Lakhal, Lassaad. (2021). The relationships between TQM, TPM, JIT and agile manufacturing: an empirical study in industrial companies. *The TQM Journal, ahead-of-print*(ahead-of-print). doi:10.1108/TQM-12-2020-0306
- Kibira, D., Brundage, M. P., Feng, S., y Morris, K. C. (2018). Procedure for Selecting Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 140(1). doi:10.1115/1.4037439
- Kibira, D., y Feng, S. (2017) Environmental KPI selection using criteria value and demonstration. In: *Vol. 514* (pp. 488-495): Springer New York LLC.
- Klotz, L., y Horman, M. (2007). *Transparency, process mapping and environmentally sustainable building projects*.
- Kock, N. (2019a). Factor-based structural equation modeling with WarpPLS. *Australasian Marketing Journal (AMJ)*. doi:10.1016/j.ausmj.2018.12.002
- Kock, N. (2019b). From composites to factors: Bridging the gap between PLS and covariance-based structural equation modelling. *Information Systems Journal*, 29(3), 674-706. doi:10.1111/isj.12228
- Kovach, J., Stringfellow, P., Turner, J., y Cho, B. R. (2005). The house of competitiveness: The marriage of agile manufacturing, design for six sigma, and lean manufacturing with quality considerations. *Journal of Industrial Technology*, 21(3).
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., y Wiktorsson, M. (2015). Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: A case study approach. *Journal of Cleaner Production*, 98, 304-315. doi:10.1016/j.jclepro.2014.06.076
- Kushneryk, V. V. (2012). Impact of globalization on development of scientific and technological revolution. *Actual Problems of Economics*, 134(8), 30-34.
- Lazarevic, M., Mandic, J., Sremcevic, N., Vukelic, D., y Debevec, M. (2019). A systematic literature review of poka-yoke and novel approach to theoretical aspects. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 65(7-8), 454-467. doi:10.5545/sv-jme.2019.6056

- López-Alcarria, A., Olivares-Vicente, A., y Poza-Vilches, F. (2019). A systematic review of the use of Agile methodologies in education to foster sustainability competencies. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10). doi:10.3390/su11102915
- Marinagi, C., Trivellas, P., y Reklitis, P. (2015). Information Quality and Supply Chain Performance: The Mediating Role of Information Sharing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 175, 473-479. doi:10.1016/j.sbspro.2015.01.1225
- Megayanti, W., Anityasari, M., y Ciptomulyono, U. (2018). *Sustainable supply chain value stream mapping (Ssc-Vsm) the application in two bottle drinking water companies.*
- Menon, Rakesh R., y Ravi, V. (2021). Analysis of barriers of sustainable supply chain management in electronics industry: An interpretive structural modelling approach. *Cleaner and Responsible Consumption*, 3, 100026. doi:10.1016/j.clrc.2021.100026
- Mercado, V. V., Acosta, D. B., Rodado, D. N., Reyes, J. C., Castillo, A. P., y Tortorella, G. L. (2021). Design of lean manufacturing-based strategies to improve the production process of a metalworking company. *International Journal of Services and Operations Management*, 38(4), 566-593. doi:10.1504/IJSOM.2021.114251
- Milosevic, M., D'Amato, R., Ungureanu, N., y Ruggiero, A. (2021) Sustainability of the Production Process by Applying Lean Manufacturing Through the PDCA Cycle – A Case Study in the Machinery Industry. In: *Vol. 51* (pp. 199-211): Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- Mishima, K., Mishima, N., y Nakano, M. (2012). *A study on an e-waste management strategy considering global inverse supply chain.*
- Mokhtar, Ahmad Rais Mohamad, Genovese, Andrea, Brint, Andrew, y Kumar, Niraj. (2019). Improving reverse supply chain performance: The role of supply chain leadership and governance mechanisms. *Journal of Cleaner Production*, 216, 42-55. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.045
- Molina, T., García-Alcaraz, J. L., Loya, V. M., Tanino, N. S., y Tlapa, D. (2017). Impact of human resources on quality after just-in-time implementation. In *Handbook of Research on Manufacturing Process Modeling and Optimization Strategies* (pp. 235-255): IGI Global.
- Morales-García, A. S., Díaz-Reza, J. R., y García-Alcaraz, J. L. (2021) Effect of TPM and OEE on the Social Performance of Companies. In: *Vol. 966. Studies in Computational Intelligence* (pp. 119-141): Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- Morales Méndez, J. D., y Rodríguez, R. S. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1-4), 1013-1026. doi:10.1007/s00170-017-0052-4
- Morell-Santandreu, O., Santandreu-Mascarell, C., y García-Sabater, J. (2020). Sustainability and kaizen: Business model trends in healthcare. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1-28. doi:10.3390/su122410622
- Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., Sánchez, J. C., y Corrales, L. C. N. (2020). Development of a new green indicator and its implementation in a cyber-physical system for a green supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1-19. doi:10.3390/su12208629

- Mostafa, S., Lee, S. H., Dumrak, J., Chileshe, N., y Soltan, H. (2015). Lean thinking for a maintenance process. *Production and Manufacturing Research*, 3(1), 236-272. doi:10.1080/21693277.2015.1074124
- Mothersell, W. M., Moore, M. L., y Reinert, M. W. (2008). Hoshin Kanri planning: The system of five alignments behind the Toyota Production System. *International Journal of Business Innovation and Research*, 2(4), 381-401. doi:10.1504/IJBIR.2008.018587
- Munguia, Nora, Vargas-Betancourt, Noe, Esquer, Javier, Giannetti, Biagio F., Liu, Gengyuan, y Velazquez, Luis E. (2018). Driving competitive advantage through energy efficiency in Mexican maquiladoras. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3379-3386. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.253
- Palomo, I., Willems, L., Drakou, E., Burkhard, B., Crossman, N., Bellamy, C., . . . Verweij, P. (2018). Practical solutions for bottlenecks in ecosystem services mapping. *One Ecosystem*, 3. doi:10.3897/oneeco.3.e20713
- Parsazadeh, Nadia, Ali, Rosmah, Rezaei, Mehran, y Tehrani, Sanaz Zolfaghar. (2018). The construction and validation of a usability evaluation survey for mobile learning environments. *Studies in Educational Evaluation*, 58, 97-111. doi:10.1016/j.stueduc.2018.06.002
- Patil, H. R., y Javalagi, C. M. (2020). Analysis of key performance indicators for sustainable manufacturing in sugar industry using analytical hierarchy process. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 27(4), 959-963.
- Pazos, P., Canto, A. M., y Powell, A. (2009). *The impact of social system factors on sustainability of lean manufacturing: The case of the US and Mexico*.
- Prachař, J., Fidlerová, H., Sakál, P., y Zbojová, T. (2014) Improving the sustainability and effectiveness of the inventory management in manufacturing company. In: *Vol. 693. Applied Mechanics and Materials* (pp. 141-146): Trans Tech Publications Ltd.
- Primo, M. A. M., DuBois, F. L., de Oliveira, M. D. L. M. C., Amaro, E. S. D. D. M., y Moser, D. D. N. (2021). Lean manufacturing implementation in time of crisis: the case of Estaleiro Atlântico Sul. *Production Planning and Control*, 32(8), 623-640. doi:10.1080/09537287.2020.1747655
- Reddy, K, Jagan Mohan, Rao, A, Neelakanteswara, y L, Krishnanand. (2019). A review on supply chain performance measurement systems. *Procedia Manufacturing*, 30, 40-47. doi:10.1016/j.promfg.2019.02.007
- Romeira, B., Moura, A., y Robaina, M. (2020). *The kanban system's environmental impacts: A comparative study*.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., y Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644-1661. doi:10.1080/00207543.2019.1672902
- Samadhiya, A., y Agrawal, R. (2020). *Achieving sustainability through holistic maintenance-key for competitiveness*.
- Sanchez, A., Sanchez, S., Dueñas, P., Hernandez-Sanchez, P., y Guadalajara, Y. (2020). The Role of Sustainability Analysis in the Revalorization of Tequila Residues and Wastes Using Biorefineries. *Waste and Biomass Valorization*, 11(2), 701-713. doi:10.1007/s12649-019-00756-0
- Sethi, P., Chakrabarti, D., y Bhattacharjee, S. (2020). Globalization, financial development and economic growth: Perils on the environmental sustainability

- of an emerging economy. *Journal of Policy Modeling*, 42(3), 520-535. doi:10.1016/j.jpolmod.2020.01.007
- Setiawan, N., Salleh, M. R., Ariff, H. A., Rahman, M. A. A., Mohamad, E., Sulaiman, M. A., . . . Ito, T. (2021). A proposal of performance measurement and management model for 5S sustainability in manufacturing SMEs: A Review. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 15(2). doi:10.1299/JAMDSM.2021JAMDSM0017
- Shibata, S., Wada, Y., Terui, H., Uesugi, H., Endo, S., Hoshino, S., . . . Mitsuishi, G. (2001). *Study of inverse supply chain (3). - Study of promotion issues on inverse supply chain.*
- Silva, C., Vaz, P., y Ferreira, L. M. (2013). *The impact of lean manufacturing on environmental and social sustainability: A study using a concept mapping approach.*
- Silva, S., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., y Santos, G. (2020) Lean Green – The Importance of Integrating Environment into Lean Philosophy – A Case Study. In: Vol. 122 (pp. 211-219): Springer.
- Singh, J., Gandhi, S. K., y Singh, H. (2020). Assessment of implementation of lean manufacturing in manufacturing unit - A case study. *International Journal of Business Excellence*, 21(2), 274-296. doi:10.1504/IJBEX.2020.107593
- Singh, S., Dixit, S., Sahai, S., Sao, A., Kalonia, Y., y Subramanya Kumar, R. (2018). *Key Benefits of Adopting Lean Manufacturing Principles in Indian Construction Industry.* Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Singh, U., y Ahuja, I. S. (2015). Evaluating the contributions of total productive maintenance on manufacturing performance. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 5(4), 425-455. doi:10.1504/IJPMB.2015.072324
- Sinha, Sanjib Kumar, y Majumdar, Abhijit. (2021). Economic sustainability benchmarking of environmental initiatives: a case of wastewater treatment plant. *Benchmarking: An International Journal, ahead-of-print(ahead-of-print)*. doi:10.1108/BIJ-09-2020-0482
- Sobral, M. C., Sousa Jabbour, A. B. L., y Chiappetta Jabbour, C. J. (2013). Green benefits from adopting lean manufacturing: A case study from the automotive sector. *Environmental Quality Management*, 22(3), 65-72. doi:10.1002/tqem.21336
- Soltani, M., Aouag, H., y Mouss, M. D. (2020). An integrated framework using VSM, AHP and TOPSIS for simplifying the sustainability improvement process in a complex manufacturing process. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(1), 211-229. doi:10.1108/JEDT-09-2018-0166
- Sonmez, V., y Pintelon, L. (2020). A survey on performance management of operating rooms and a new KPI proposal. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(8), 2595-2609. doi:10.1002/qre.2739
- Sparks, D., y Badurdeen, F. (2014). *Combining Sustainable Value Stream Mapping and simulation to assess supply chain performance.*
- Susilawati, A., Tasri, A., Arief, D. S., y Yohanes, Y. (2019). *Wastes Analysis to Improve the Productivity and Sustainability in Manufacturing Industry.*
- Tamás, P., Tollár, S., Illés, B., Bányai, T., Tóth, A. B., y Skapinyecz, R. (2020). Decision support simulation method for process improvement of electronic product testing systems. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). doi:10.3390/su12073063
- Thekkekara, J. V., y Thiagarajan, S. (2019). Understanding How Markets and State Action Shape Costs and Prices of Healthcare in Post-globalization India: A Study

- of High-end Imaging Services in Kerala. *Journal of Health Management*, 21(3), 394-405. doi:10.1177/0972063419868565
- Thomas, Job, y Harilal, B. (2019). Sustainability evaluation of cold-bonded aggregates made from waste materials. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117788. doi:10.1016/j.jclepro.2019.117788
- Tlapa-Mendoza, D., Limón-Romero, J., Báez-López, Y., y Salinas-Coronado, J. (2014). Process improvement: The six sigma approach. In *Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin America* (Vol. 9783319049519, pp. 87-115).
- Tlapa, D., Limon, J., García-Alcaraz, J. L., Baez, Y., y Sánchez, C. (2016). Six Sigma enablers in Mexican manufacturing companies: A proposed model. *Industrial Management and Data Systems*, 116(5), 926-959. doi:10.1108/IMDS-06-2015-0265
- Tomasic, R., y Xiong, P. (2016). Globalization, legal culture, and the handling of Sino-Australian commercial disputes. *Chinese Journal of Comparative Law*, 4(1), 149-171. doi:10.1093/cjcl/cxw002
- Tominaga, Ryoji, Sekiguchi, Miho, Yonemoto, Koji, Kakuma, Tatsuyuki, y Konno, Shinichi. (2018). Establishment of reference scores and interquartile ranges for the Japanese Orthopaedic Association Back Pain Evaluation Questionnaire (JOABPEQ) in patients with low back pain. *Journal of Orthopaedic Science*, 23(4), 643-648. doi:10.1016/j.jos.2018.03.010
- Vento, M. O., Alcaraz, J. L. G., Macías, A. A. M., y Loya, V. M. (2016). The impact of managerial commitment and kaizen benefits on companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(5), 692-712. doi:10.1108/JMTM-02-2016-0021
- Verrier, B., Rose, B., y Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: The Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, 116, 150-156. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.022
- Wang, J., Yin, J., Khan, R. U., Wang, S., y Zheng, T. (2021). A study of inbound logistics mode based on jit production in cruise ship construction. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1-18. doi:10.3390/su13031588
- Wehner, D., Betten, T., Held, M., y Ilg, R. (2017). *Towards industry 4.0 ready advanced sustainability analytics*.
- Widiasih, W., Karningsih, P. D., y Ciptomulyono, U. (2015). Development of Integrated Model for Managing Risk in Lean Manufacturing Implementation: A Case Study in an Indonesian Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*, 4, 282-290. doi:10.1016/j.promfg.2015.11.042
- Womack, J. P., Jones, D., y Ross, D. (2017). *La maquina que cambio el mundo* (1 ed.). México: Editorial Paidotribo Mexico S De RI De CV.
- Wu, J. (2011). Globalization and emerging office and commercial landscapes in Shanghai. *Urban Geography*, 32(4), 511-530. doi:10.2747/0272-3638.32.4.511
- Xu, Yan, Ramzan, Sidra, Munir, Hina, Liu, ChenGuang, y Gupta, Bhumika. (2020). The adoption of online e-waste collection platform to improve environmental sustainability: an empirical study of Chinese millennials. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 32(2), 193-209. doi:10.1108/MEQ-02-2020-0028
- Yan, H., Breslau, L., Ge, Z., Massey, D., Pei, D., y Yates, J. (2012). G-RCA: A generic root cause analysis platform for service quality management in large IP networks.

- IEEE/ACM Transactions on Networking*, 20(6), 1734-1747.
doi:10.1109/TNET.2012.2188837
- Yazdi, P. G., Azizi, A., y Hashemipour, M. (2018). An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach. *Sustainability (Switzerland)*, 10(9). doi:10.3390/su10093031
- Yu, H., Tweed, T., Al-Hussein, M., y Nasser, R. (2009). Development of lean model for house construction using value stream mapping. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(8), 782-790. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:8(782)
- Zhang, Qiao, Tang, Wansheng, y Zhang, Jianxiong. (2016). Green supply chain performance with cost learning and operational inefficiency effects. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3267-3284. doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.069

Anexos. Artículos y permisos editoriales

Debido a que este primer artículo no ha sido publicado en la modalidad de Open Access, solamente se reporta una imagen de la primera página de este. Lectores interesados pueden acceder a una versión completa a través de la siguiente referencia:

García-Alcaraz, J. L., Montalvo, F. J. F., Avelar-Sosa, L., Pérez de la Parte, M. M., Blanco-Fernández, J., & Jiménez-Macías, E. (2020). The importance of access to information and knowledge coordination on quality and economic benefits obtained from Six Sigma. *Wireless Networks*, 26(8), 5713-5726. doi:10.1007/s11276-019-02180-7.



The importance of access to information and knowledge coordination on quality and economic benefits obtained from Six Sigma

Jorge Luis García-Alcaraz¹ · Francisco Javier Flor Montalvo² · Liliana Avelar-Sosa¹ · María Mercedes Pérez de la Parte³ · Julio Blanco-Fernández² · Emilio Jiménez-Macías³

© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

This paper presents a structural equation model that relates knowledge coordination with access to information in the process of implementing Six Sigma and their impact on the quality and economic benefits obtained. The model integrates four latent variables (knowledge coordination and access to information as independent variables; quality benefits and economic benefits as dependent variables), that are intertwined by five hypotheses validated statistically through the partial least squares technique using data from 301 responses to a survey applied in the maquiladora industry. Findings suggest that to obtain benefits associated with product quality, information and knowledge acquired from Six Sigma, projects must be carefully saved, managed, and analysed with appropriate statistical techniques applied by green and black belts. However, to obtain economic benefits, the information and knowledge must be transformed into benefits associated with quality such as reduction in delivery time, reduction of customer complains and compliance with standards demanded by the customer.

Keywords Decision support systems · Six Sigma · Knowledge coordination · Information management · Economic benefits

Article

Effect of Quality Lean Manufacturing Tools on Commercial Benefits Gained by Mexican Maquiladoras

Jorge Luis García Alcaraz ^{1,*}, Flor Adriana Martínez Hernández ¹, Jesús Everardo Olguín Tiznado ², Arturo Realyvázquez Vargas ³, Emilio Jiménez Macías ⁴ and Carlos Javierre Lardies ⁵

¹ Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Autonomous University of Ciudad Juárez, Juárez 32310, Mexico; al194607@alumnos.uacj.mx

² Faculty of Engineering, Architecture and Design, Autonomous University of Baja California, Ensenada 22860, Mexico; jeol79@uabc.edu.mx

³ Department of Industrial Engineering, Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana 22414, Mexico; arturo.realyvazquez@tectijuana.edu.mx

⁴ Department of Electric Engineering, University of La Rioja, 26006 La Rioja, Spain; emilio.jimenez@unirioja.es

⁵ Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; sabicjl@unizar.es

* Correspondence: jorge.garcia@uacj.mx

Abstract: Companies implement lean manufacturing (LM) tools in their production processes to reduce waste; however, it is difficult to quantify the effect on benefits gained after their implementation. This article proposes a structural equations model (SEM) that relates three LM tools associated with quality as total quality management (TQM), waste, and right first time (RFT) as independent variables associated with commercial benefits gained as a dependent variable. Those four variables were related by six hypotheses that were validated with information from 169 responses to a survey applied to the Mexican maquiladora industry. Partial least squared was used to validate the hypotheses as direct effects. The sum of indirect and total effects was also estimated, and a sensitivity analysis was developed for relationships between variables. Findings indicate that TQM directly affects waste reduction, drives doing RFT, and directly and indirectly affects the commercial benefits gained.

Keywords: lean manufacturing; quality management; commercial performance; wastes; DIRFT



Citation: García Alcaraz, J.L.; Martínez Hernández, F.A.; Olguín Tiznado, J.E.; Realyvázquez Vargas, A.; Jiménez Macías, E.; Javierre Lardies, C. Effect of Quality Lean Manufacturing Tools on Commercial Benefits Gained by Mexican Maquiladoras. *Mathematics* **2021**, *9*, 971. <https://doi.org/10.3390/math9090971>

Academic Editor: María del Carmen Valls Martínez

Received: 25 March 2021

Accepted: 23 April 2021

Published: 26 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The industry in a nation plays an essential role in its development, and therefore its administrative and operational practices are often studied. Specifically, programs have focused on improving national industries in Mexico such as the maquiladora industry. Foreign companies establish subsidiaries in Mexican territory, where manufacturing activities require a high level of workforce. These maquiladoras are closer to the world's largest market, the United States of America [1], and take advantage of various tariff benefits when exporting their products due to the free trade agreements that Mexico has with the United States of America and Canada, which are low or preferential. These tariff rates are different if these companies export their products from the headquarters in their country of origin.

Currently, there are 5153 maquiladora companies established in Mexican territory, 495 of which are in the State of Chihuahua, representing 9.6% of the national total and specifically in Ciudad Juárez, there are 332, representing 6.44% of the national total and 67.1% of the state total. Maquiladora companies directly provide 2,689,209 direct jobs nationwide, 477,480 corresponding to the State of Chihuahua and 361,619 to Ciudad Juárez; hence the importance of studying this sector [2].

Along with maquiladoras being established in Mexico, some philosophies, techniques, and tools applied to production systems are arriving. One of the most important is lean manufacturing (LM), which consists of tools that help to identify and eliminate operations that do not add value to the product, service, or process. However, as Alfieri, et al. [3]

mentioned, the concept is still unclear after decades of application. Nevertheless, there is consensus that LM is focused on *Wastes* elimination, inventories, and space reduction, generating robust production systems, and providing agility and flexibility.

LM tools are classified according to their focus on the production process; some are focused on the production system's operational stability, others have focused on the flow of materials and on quality [3]. Together, all are focused on obtaining a more significant reduction of waste and guaranteeing product quality at a lower cost, having a customer focus with small production batches, and providing high safety and morale in workers [4].

Companies that apply LM tools hope to obtain some operational, economic, commercial, social, or environmental benefit. Many studies have been carried out in this regard over the last two decades. For example, Melton [5] in 2005 had already considered what lean thinking offered to industries, while Rajenthirakumar and Shankar [6] analyzed the benefits that LM tools provide to a company that manufactures durable products. Recently, Islam [4] examined whether the manufacturer or suppliers obtained more benefits by applying LM to each other, while Palange and Dhattrak [3] concluded that LM was vital to achieving the productivity rates of the companies. However, Hao, et al. [7] stated that it is often challenging to award to LM or some of its tools the benefits obtained since several are implemented simultaneously in the production lines.

Other studies have focused on identifying the benefits that companies gain from a specific LM tool. For example, García-Alcaraz et al. [8] reported the benefits obtained by just-in-time (JIT) in operational performance; Singh et al. [9] analyze the impact of Total Quality Management (TQM) on organizational performance, and Sahoo and Yadav [10] report the benefits of Total Productive Maintenance (TPM) and TQM on operational performance.

Specifically, the commercial and economic effects that LM has on companies has also been reported. For example, as early as the past decade, Meade, et al. [11] simulated the financial effects obtained from LM implementation to determine its viability; Fullerton, et al. [12] related LM tools to operational performance and how to generate financial performance, and recently, Shashi et al. [13] identified the economic benefits obtained from LM in small and medium enterprises in India.

However, there are also barriers in LM implementation that avoid receiving the financial and *Commercial benefits*. For example, Elkhairi et al. [14] mentioned that the most common barriers were a lack of planning, experience, managerial commitment, misunderstanding of LM, lack of resources, and resistance to change; while Abu et al. [15] indicated that companies without the technical knowledge to implement LM sometimes subcontract external consultants who do not know the real needs of the company. Then, there are barriers such as lack of training and education, strong unions that do not accept improvement changes, and long and complicated hierarchical structures in which communication is slow with information lost.

In the maquiladora industry, one of the most used LM tools is TQM, which focuses on generating awareness at the organizational level about the importance of developing products and services that meet customer expectations [16]. Although some authors declare that TQM is a LM tool such as Lynn [17] and Sisternas [18], others such as Salleh et al. [19] consider that TQM and LM are different techniques. In this research, the authors decided to integrate TQM as a LM tool because that is the industrial practice in the maquiladora sector.

Although the relationship between LM tools and company performance makes common sense, very few authors have studied it. For example, York and Miree [20] reported the relationship between TQM and financial performance; Singh, Kumar, and Singh [9] analyzed TQM and its impact on the general performance of companies; Moitra [21] examined the role of human resources in the success of TQM; Green et al. [22] reported that TQM impacted environmental sustainability; and García-Alcaraz et al. [23] analyzed the TQM structure and its effect on customer satisfaction.

Although TQM is a complete LM tool, it is sometimes studied separately and requires support from other tools that focus on eliminating *Wastes*, and *RFT*, which guarantees obtaining *Commercial benefits* that mean the best economic performance. The relationship

of these variables makes common sense, since, if there are no *Wastes* in resources and the products are produced *Right first time*, it means that there are no rework or losses in the raw material, and, therefore, greater benefits and reputation are obtained for the company. However, the relationships between these variables have not been quantified, so this article presents a structural equation model (SEM) with three independent variables associated with quality such as *TQM*, *Wastes*, and *RFT* related to each other and to the *Commercial benefits* that companies obtain.

Quantifying the relationships between *TQM*, *Wastes*, *RFT*, and *Commercial benefits*, our findings will support the managers' decision-making process in maquiladoras to identify those essential activities for achieving the commercial objectives. This will allow them to focus on human, material, and economic resource management.

2. Hypothesis and Literature Review

2.1. TQM

TQM's programs are a set of techniques, procedures, and methods that serve as the basis for ensuring quality in products and services, and proof of this is that many standards govern them such as ISO-9001 for management systems, ISO 19011 for audits of these systems, and ISO16946 for quality in the automotive sector, among others. However, standards alone do not guarantee quality as they are just guidelines, and their success depends on the people who implement them [21], indicating that several critical success factors (CSFs) of *TQM* are required. Sreedharan et al. [24] noted that the main ones were management engagement, communication, training, customer focus, and organizational culture.

Therefore, *TQM* requires dissemination throughout the organizational structure, and from receiving the raw material up until it becomes a finished product, always focused on the customer. *TQM* practices gain knowledge that companies must manage to grow and solve future problems [25] as this tool acts as a facilitator [26].

2.2. Waste

A production process that generates *Wastes* has poor quality and is not standardized [27], concluding that some LM-based tools have not been applied correctly. Waste is any element within the production process that does not add value to the final product, but adds cost [28]. There are seven types of *Waste* reported in the literature: overproduction, waiting, transportation, inadequate processes, unnecessary inventory, excessive movement of elements, and excess defects [29], which represent economic losses for the company, and value stream mapping is a tool that can help to discover them [30].

Given that eliminating all *Wastes* and increasing quality cost money, these two variables are related because a product generated with *Wastes* in the production process and defects is usually cheaper than those that do not have them. Therefore, there must be a balance among them (quality and *Wastes*) [31], and that is not a new problem. Womack and Jones [32] indicated that they considered *Waste* reduction to be the basis for generating *Economic benefits* for the company. Then, the following hypothesis is proposed.

Hypothesis 1 (H1). *TQM implementation in the maquiladora industry has a direct impact on waste reduction.*

2.3. Doing It RFT

As the name implies, *RFT* emphasizes that production processes are correct. Its implementation requires analysis of the available quality indices, focusing on identifying problems associated with human error to propose improvement strategies systematically. This technique has its origin with Philip B. Crosby, who presented the motto of "zero defects" and *RFT*. However, today, many applications of *RFT* are seen in the medical and health areas, where errors can be fatal causes.

Industrial applications of *RFT* have been observed in reports by Moshiri et al. [33] in additive manufacturing processes in Industry 4.0, and Eldessouky et al. [34] proposed a

contextual framework for *RFT* when the process generates *waste* and the raw material is expensive. Therefore, there is no doubt that *RFT* is part of *TQM*'s programs. The number of defects in a product is a critical metric [35] as well as the number of accidents that occur [36], indicating that the company has an efficient system for solving problems in its production process through its leaders [37] and *TQM*, so the following hypothesis was proposed.

Hypothesis 2 (H2). *TQM implementation in the maquiladora industry has a direct and positive impact on RFT.*

Another critical aspect of *RFT* is that *Wastes* are not allowed from materials when they are expensive. If companies focus on eliminating *Waste* in their production process, then the products may have the quality according to customer specifications [29,38]. In other words, if the number of products requiring rework is minimized due to programs focused on improving the process, then there is a greater likelihood of getting it right the first time. Additionally, if production methods have reduced transport times and operators have been trained, then the likelihood of getting it right the first time increases [39]. Besides, other quality-focused tools that support *TQM* such as six sigma help eliminate *Wastes* [40]. Therefore, this research proposes the following hypothesis:

Hypothesis 3 (H3). *Waste implementation in the maquiladora industry has a direct and positive impact on RFT reduction in the maquiladora industry.*

2.4. Commercial Benefits

Commercial benefits are the means of generating economic income in maquiladora companies. This is why managers strive to achieve them, which is reflected in reducing the costs of acquiring materials, using electricity, the rate paid for treatment and dumping of *Wastes*, and penalties for environmental fails. These problems affect the return on sales and investment and economic benefits, among others.

García-Alcaraz, Montalvo, Sánchez-Ramírez, Avelar-Sosa, Saucedo, and Alor-Hernández [23] declared that the organizational structure for *TQM* was the basis for achieving customer satisfaction and achieving a better market coverage. That indicates that the quality of a company's products is the first thing that customers evaluate. Magdy and Tamer [41] stated that *TQM* is directly linked to the performance of companies, as it is how value is added to services. However, as indicated by Sila [35], the performance of companies in implementing *TQM* may be affected by the sector and the country; that is, by religious and cultural aspects. Then, the following hypothesis was proposed.

Hypothesis 4 (H4). *TQM implementation in maquiladora industries has a direct and positive impact on Commercial benefits obtained.*

The benefits obtained from quality programs are not based on luck; they are the product of a broad cultural and philosophical deployment in this concept. For example, Kappelman and Prybutok [42] and Kassiech and Yourstone [43] indicated that staff training is vital in avoiding mistakes, which was recently confirmed by García-Alcaraz et al. [44]. Trained operators will make fewer mistakes in their work, and therefore there will be low rework rates with savings in energy and labor, among others. In conclusion, there are protocols to follow to reduce *Wastes* that comply with the standards in the production process, thus allowing for obtaining social and commercial acceptance to take place before the customers. Then, the following hypothesis was proposed.

Hypothesis 5 (H5). *RFT implementation in the maquiladora industry has a direct and positive impact on the Commercial benefits they obtain.*

Quality could not exist if there is *Wastes* in the production process. For example, if there is a significant transport in the materials, then the cost is increased, or if people make

a lot of movement, they will be unproductive [45] and unsustainable [44]. Similarly, proper inventory management favors a circulation of the company's material and economic goods, lowering the storage costs and final price. Sreedharan, Sunder, and Raju [24] saw the elimination of *Wastes* as a key to LM's success, while Sahoo and Yadav [10] mentioned that the elimination of leisure time from machines in the production system facilitated deliveries on time and in the quantity and quality required. As such, the following hypothesis was proposed.

Hypothesis 6 (H6). *Wastes implementation in the maquiladora industry has a direct and positive impact on the Commercial benefits they obtain.*

Figure 1 graphically represents all of the proposed hypotheses.

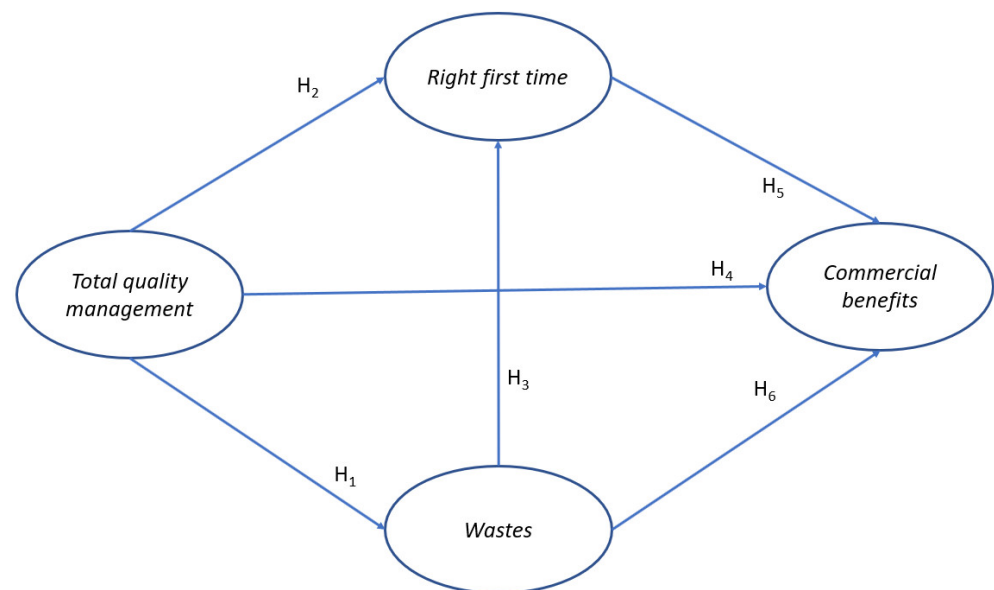


Figure 1. Proposed model.

3. Methodology

3.1. Questionnaire Design

To validate the hypotheses statistically in Figure 1, a questionnaire was designed to obtain information from the maquiladora companies. It started with a literature review in scientific databases to learn about the activities required to implement the LM tools and their benefits. This literature review corresponded to rational validation.

These activities allowed for the validation of the level of implementation of the LM tools analyzed. The first draft of the questionnaire was generated and presented to seven managers of regional maquiladora companies and four academics to obtain validation by experts. After two rounds with the experts, a final questionnaire containing *TQM*, *RFT*, *Wastes*, and *Commercial benefits* with five, seven, six, and seven items, respectively. Such a questionnaire had to be answered on a six-point Likert scale, where one means that the activity is not performed or the profit is never obtained, while six indicates that the activity is always performed or that the benefit is always obtained. The final questionnaire with all LM tools is available in Martínez Hernández and García Alcaraz [46].

The questionnaire consists of three sections: Section 1 seeks to identify the demographic data of the respondent such as gender, years in the position, and number of employees in the company, among others. Section 2 contains the three tools and their activities, and finally, Section 3 evaluates the *Commercial benefits* obtained and thanks the respondent for their participation.

3.2. Application of the Questionnaire

With support from IMMEX (Manufacturing Industry, Maquiladora and Export Services), only one manager or engineer from each regional maquiladora was invited to answer the questionnaire. The questionnaire was designed on an online platform, and the electronic link was shared with potential respondents during the June–August 2020 period.

As inclusion criteria, respondents had to have at least one year of experience in their job position, were active, had participated in at least two quality projects completed to ensure that they understood the benefits gained, and only one person per company could respond to the survey. Thus, sampling was initially stratified, focusing only on a particular sector of managers or engineers within the company. Then, the snowball technique was used as the respondent was asked about other colleagues in different companies who could answer the questionnaire [47].

An email was sent with the electronic link to prospective respondents inviting them to participate in the investigation, and 15 days were given to receive a response. If an answer was not received, a second email was sent reminding them of the invitation, and if the answer was not received in another 15 days, that case was discarded.

3.3. Obtaining Information and Debugging It

In early September 2020, a database of the platform on which the questionnaire is broadcast is downloaded, read in SPSS software v.25[®]. Database debugging consists of the following activities [48]:

- Identification of uncommitted respondents. The standard deviation was obtained from each case and those where it was less than 0.5 were omitted from the analysis.
- Identification of missing values. If the percentage was lower than 10%, they were replaced by the median, but if the rate was higher, then that case was removed from the analysis.

Extreme values identification. The median replaced the standardized values greater than four in absolute value.

3.4. Descriptive Analysis of the Sample and Items

Crosstables were built to describe the sample with information from the demographic section. The median was reported as a central trend measure for describing the items since the information was on a Likert scale and the interquartile range as a deflection measure. High values in the median indicate that the activity is always performed or that a profit is always obtained. In contrast, low values in the median suggest that the activity is not executed or that the benefit is not obtained.

3.5. Validation of Latent Variables

With a debugged database, each latent variable in the model was validated, and the following indexes were used [49]:

- Cronbach alpha index and composite reliability index to measure the reliability and internal consistency of variables, Values greater than 0.7 were accepted, being iteratively obtained.
- R-squared and adjusted R-squared to measure the parametric predictive validity. Values greater than 0.02 were accepted and significantly associated with p -value.
- Q-square to measure non-parametric predictive validity. This should be similar to the R-square value.
- Average extracted variance (AVE) to measure the discriminant validity of each latent variable, which must be greater than 0.5.
- Variance inflation indexes (VIFs) to measure collinearity in each construct, which should be lower than 3.3.

This paper contains Supplementary Materials reporting the T ratios for the path coefficients and their confidence intervals; factor loadings, their T ratios and confidence

intervals; and PLSc reliabilities (Dijkstra's rho), PLSc loadings, p -values for loadings (one-tailed), p -values for loadings (two-tailed), among others.

3.6. Structural Equation Modeling

The structural equation modeling methodology was chosen to validate the hypotheses in Figure 1 and the partial least squares technique integrated into WarpPLS v7.0[®] software was used. Latent variables already validated were integrated into the model, and the following indexes with a 95% confidence level were reviewed before being analyzed [48]:

- Average path coefficient (APC) to measure the dependency between latent variables. p -values must be less than 0.05.
- Average R-squared (ARS) and average adjusted R-squared (AARS) to measure predictive validity, and associated p -values lower than 0.05.
- Average block VIF (AVIF) and average full collinearity VIF (AFVIF) to measure collinearity between variables. Values lower than 3.3 were accepted.
- Tenenhaus GoF (GoF) to measure the fit of the data to the model, which must be greater than 0.36.

To validate the scenarios raised, the direct effects between the variables analyzed at a confidence level of 95% were calculated, so a standardized value was obtained, β , as a dependency measure. The null hypothesis H_0 was tested, $\beta = 0$, against the alternative hypothesis H_1 that $\beta \neq 0$. If it was statistically proven that $\beta = 0$, then it was concluded that there is no relationship between the analyzed variables. Otherwise, if $\beta \neq 0$, then it was supposed that there is a relationship between variables.

However, indirect effects were also calculated, which occur through a mediating variable and can have two or more segments, which help to understand the effects that do not directly occur. Finally, the total effects was estimated, which was the sum of direct and indirect effects. Indirect and total effects were estimated under the same assumptions of direct effects. Finally, each of the estimated effects was associated with the effect size (ES) as a measure of the variance explained in the dependent variable, which helps determine the level of importance they have.

3.7. Sensitivity Analysis

WarpPLS analysis uses standardized values of latent variables, so it is possible to obtain the probabilities of scenarios and calculate the conditional probabilities. Specifically, the sensitivity analysis evaluates the probability of simultaneously finding the two related variables in their low scenario, high scenario, or their combinations (i.e., $P(Z_i > 1)$ and $P(Z_d > 1)$, $P(Z_i > 1)$ and $P(Z_d < -1)$, $P(Z_i < -1)$ and $P(Z_d > 1)$ y $P(Z_i < -1)$ and $P(Z_d < -1)$). Similarly, conditional probabilities for $P(Z_d > 1)/P(Z_i > 1)$, $P(Z_d > 1)/P(Z_i < -1)$, $P(Z_d < -1)/P(Z_i > 1)$, and $P(Z_d < -1)/P(Z_i < -1)$) were calculated, where Z_i represents an independent variable, Z_d represents a dependent variable, -1 represents a low scenario, and 1 represents a high scenario.

4. Results

4.1. Descriptive Analysis of the Sample

A total of 169 complete surveys were collected at the end of August 2020, of which 57 respondents were women and 112 men; 74 held the position of managers and 95 engineers. The dataset collected are available in Martínez Hernández and García Alcaraz [50]. Table 1 illustrates the industrial sector and the years of experience for respondents in that job position. Observe that everyone had at least two years of experience, so it was concluded that the respondents were a reliable source of information.

Table 1. Number of respondents by industry sector and years of experience.

Industrial Sector	Job Experience in Years			Total
	2 and <5	5 and <10	>10	
Automotive	26	38	10	74
Medical	19	16	5	40
Machining	14	12	7	33
Electronic	2	8	0	10
Logistic	5	1	1	7
Electric	3	1	1	5
Total	69	76	24	169

It was also noted that the automotive and medical sectors had the most participation. In this research, the electric industrial sector focuses on producing wires, harnesses, and electric motor assemblies. In contrast, the electronics industrial sector focuses on programmable products, which integrate microcircuits or control motherboards.

4.2. Descriptive Analysis of Items

Table 2 illustrates the descriptive analysis of the items. The median and inter quarterly range (IR) are shown, as the information came from assessments. The values are sorted in descending order in each variable according to the median value, and it was observed that all activities were implemented, or the expected benefits were obtained since all medians were always greater than 4. Furthermore, it was noted that the activities associated with TQM had the highest medians and that Wastes had the lowest values.

Table 2. Descriptive analysis of the items.

Total Quality Management	Median	IR
TQM5. The organization focuses on meeting the needs of customers, involving employees	5.23	1.42
TQM3. The concept of total quality from raw material collection to after-sales customer service is promoted	5.18	1.58
TQM4. Decision-making for improvement is justified by facts and data	4.98	1.57
TQM2. Participatory management is promoted aimed at continuous improvement in all operations	4.87	1.61
<i>Right first time</i>		
RFT5. Training and awareness is carried out in relation to the quality and need to do well the activities	4.92	1.67
RFT3. Compliance with quality standards is verified with a zero-defect approach	4.83	1.55
RFT4. There is a standardized protocol for sampling when you want to do an analysis	4.81	1.74
RFT2. Ensures proper process operation to prevent defects	4.77	1.53
<i>Wastes</i>		
W8. Waste is identified in the production process and supply chain	4.81	1.55
W5. Improvements are encouraged to reduce Waste	4.70	1.54
W4. Product rework is reduced to the acceptable minimum	4.52	1.89
W6. Seeks to minimize the transport of material	4.50	1.80
<i>Commercial benefits</i>		
BCR1. There is a reduction in the cost of acquiring materials	4.73	1.74
BCR6. Average profit growth has been had in the last two years	4.68	1.77
BCR5. There has been an average return on sales and investment in the last two years	4.65	1.77
BCR2. There is a reduction in the cost of using energy	4.62	1.91

4.3. Variables Validation

Table 3 illustrates the validation of latent variables, which was obtained iteratively. The row corresponding to the number of items was divided into two columns for each variable, where the first value indicates the initial number of items in the questionnaire. In contrast, the second value indicates the number of items left after the validation process. According to the information in Table 2, it can be concluded that all variables had sufficient

predictive, content, and convergent validity and that they had no problems of collinearity. Based on the above, the variables were integrated into the model.

Table 3. Validation of latent variables.

Index	Best Value If	TQM		RFT		Wastes		Commercial Benefits	
Number of items		6	3	7	4	8	4	7	3
R-squared	>0.02			0.612		0.259		0.459	
Adjusted R-squared	>0.02			0.607		0.255		0.449	
Composite reliability	>0.7	0.888		0.917		0.911		0.907	
Cronbach’s alpha	>0.7	0.832		0.879		0.869		0.845	
Average variance extracted	>0.5	0.666		0.734		0.719		0.765	
Full collinearity VIF	<3.3	1.804		2.704		2.152		1.806	
Q-squared	>0.02			0.613		0.260		0.463	

4.4. SEM

The model was generated with the final variables and items after the validation process. The efficiency indices on the evaluated model are illustrated below. It was observed that they met the high- and low-established cutoff values, concluding that it had sufficient predictive validity, a good data fit to the model, and no collinearity problems. The evaluated model is illustrated in Figure 2.

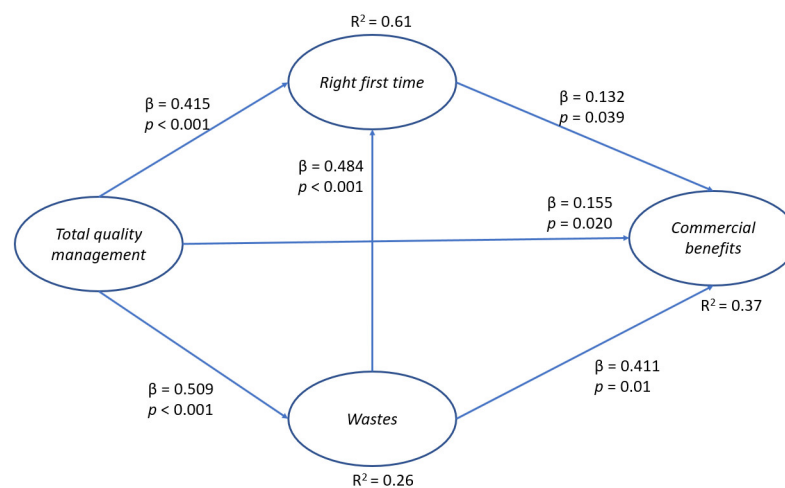


Figure 2. Evaluated model.

- Average path coefficient (APC) = 0.363, $p < 0.001$
- Average R-squared (ARS) = 0.443, $p < 0.001$
- Average adjusted R-squared (AARS) = 0.437, $p < 0.001$
- Average block VIF (AVIF) = 1.754, ideally ≤ 3.3
- Average full collinearity VIF (AFVIF) = 2.116, ideally ≤ 3.3
- Tenenhaus GoF (GoF) = 0.565, large ≥ 0.36

4.4.1. Direct Effects

According to Figure 2, all relationships were statistically significant, so based on the direct effects, it can be concluded that the relationships established as hypotheses were valid with 95% confidence. Table 4 summarizes the information, the size effect size (ES) as a measure of variance explained, and conclusions of the hypotheses.

Table 4. Direct effect and hypotheses conclusions.

Independent Variable	Dependent Variable	β (p -Value)	Effect Size	Conclusion
TQM	Wastes	0.509 ($p < 0.001$)	0.259	Accept
TQM	RFT	0.415 ($p < 0.001$)	0.275	Accept
Wastes	RFT	0.484 ($p < 0.001$)	0.337	Accept
TQM	Commercial benefits	0.120 ($p = 0.046$)	0.046	Accept
RFT	Commercial benefits	0.316 ($p < 0.001$)	0.196	Accept
Wastes	Commercial benefits	0.334 ($p < 0.001$)	0.204	Accept

4.4.2. The Sum of Indirect Effects and Total Effects

Table 5 illustrates the sum of indirect effects, the total effects, their p -value, and associated ES. It should be noted that all the effects were statistically significant to a 95% confidence level. Here, it is important to emphasize that the relationship between TQM and Commercial benefits had a p -value of 0.046 (almost not significant) in the direct effect, but in the indirect and total effect, this effect was large and statistically significant.

Table 5. Sum of indirect and total effects.

Sum of Indirect Effects			
	TQM	RFT	Wastes
RFT	0.246 ($p < 0.001$) ES = 0.163		
Commercial benefits	0.379 ($p < 0.001$) ES = 0.187		0.153 ($p = 0.002$) ES = 0.093
Total Effects			
RFT	0.662 ($p < 0.001$) ES = 0.438		0.484 ($p < 0.001$) ES = 0.337
Wastes	0.509 ($p < 0.001$) ES = 0.259		
Commercial benefits	0.499 ($p < 0.001$) ES = 0.246	0.316 ($p < 0.001$) ES = 0.196	0.487 ($p < 0.001$) ES = 0.297

4.4.3. Sensitivity Analysis

Table 6 illustrates the sensitivity analysis of the probability that independent and dependent variables will occur in high ($p > 1$) and low ($p < -1$) scenarios. By column, are the independent variables and, per row, the dependent variables. In this analysis, the probability that independent and dependent variables appear simultaneously in a scenario is denoted by the symbol “&”, while the conditional probability of the dependent variable occurring since the independent variable has occurred is represented by “if”.

Table 6. Sensitivity analysis.

	Sign/Value	TQM		Wastes		RFT	
		+	−	+	−	+	−
		0.166	0.136	0.148	0.160	0.178	0.154
Wastes	+	0.142	& = 0.083 If = 0.500	& = 0.000 If = 0.000			
	−	0.160	& = 0.018 If = 0.107	& = 0.065 If = 0.478			
RFT	+	0.148	& = 0.059 If = 0.357	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.089 If = 0.625	& = 0.006 If = 0.037	
	−	0.142	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.077 If = 0.565	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.095 If = 0.593	
Commercial benefits	+	0.178	& = 0.077 If = 0.464	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.077 If = 0.542	& = 0.006 If = 0.037	& = 0.065 If = 0.440
	−	0.154	& = 0.006 If = 0.036	& = 0.065 If = 0.478	& = 0.000 If = 0.0000	& = 0.071 If = 0.444	& = 0.006 If = 0.040

For example, the probability of simultaneously finding *TQM* and *Wastes* at high levels was 0.083 [$P(TQM+ \cap Wastes+)$]. Still, the probability of *Wastes* occurring at a high level, since *TQM* occurred at its high level, was also 0.500 [$P(Wastes+/TQM+)$], and hence the importance of *TQM* programs, as they guarantee the success of other LM tools such as *waste* reduction. However, suppose that *TQM* occurs at a low level due to quality deployment problems. In that case, it is possible to obtain *Wastes* in a low level with a probability of 0.178, which is a risk for managers. The additional probabilities were similarly interpreted.

5. Discussion of Results and Conclusions

The implementation of LM tools such as *TQM* must be based on the actual data of the company's quality situation and support many other tools. This study linked three LM tools associated with quality to *Commercial benefits*.

5.1. Conclusions from Descriptive Analysis

The descriptive analysis shows that *TQM* is the tool with the highest average values, indicating that respondents considered that activities were always carried out to achieve them. *TQM* had the lowest inter-quarterly range in item *TQM5*, meaning that there was consensus that the companies were focused on meeting the needs of customers. With regard to the activity that had the lowest median, this referred to item *W6 (Wastes)* with a value of only 4.50, focused on minimizing the transport of material; moreover, *BCR2 (Commercial benefits)* was the item with an enormous IR value, indicating that there was a lower consensus regarding its actual average value.

Concluding from an univariate point of view, to achieve success in *TQM* implementation, maquiladora companies need to focus on meeting customer needs to promote quality throughout the company. To achieve *RFT*, companies need to focus on education and training, verifying compliance with standards. To reduce *Wastes*, companies need to focus on identifying the *waste* origin and implementing improvements. Finally, the most important *Commercial benefits* gained from applying LM tools are reducing material costs, increasing sales, and return on investment.

5.2. Conclusions from SEM and Sensitivity Analysis

The relationship between *TQM* and *Wastes* in H_1 was statistically significant, meaning that focus on quality customers and promoting its concept within the company allowed a reduction in *Wastes* in the production process, delays in delivery time, rework due to human errors, and transport of material. Additionally, the sensitivity analysis showed that *TQM+* encourages activities aimed at eliminating *Wastes+* with a probability of 0.500, but generates very little probability of *Wastes-*; also, *TQM-* never helps eliminate *Wastes+* since the probability is null, and there exists the risk of having *Waste-* with a probability of 0.478. In this sense, this work coincides with Johri and Kumar [51], who established that compliance with international quality standards allowed for improvements in the operational performance of companies such as certified recognition for their products and management.

The relationship between *TQM* and *RFT* in H_2 proves that focusing on customers, spreading the concept of quality throughout the company, and a decision-making process focused on continuous improvement with training support leads companies to generate protocols for quality assurance and comply with the product standards. The sensitivity analysis showed that when *TQM+* occurs, managers have a 0.357 chance of having *RFT+*; however, *TQM-* is never associated with *RFT+*, since the probability is null. Additionally, *TQM-* can generate *RFT-* with a probability of 0.565. The results match the Moitra [18] report, indicating that errors and defects can be prevented from the root, training operators to ensure product quality.

Wastes have also been shown in this study to positively affect *RFT*, as activities aimed at identifying and eliminating *Wastes* lead to *RFT* products and services being generated. From the sensitivity analysis, we observed that *Wastes+* favored *RFT+* with a probability

of 0.625 and that it never generated $RFT-$, since the probability was null. Additionally, it can be noted that $Wastes-$ only had a probability of generating $RFT+$ of 0.037, but 0.593 of $RFT-$ happens. In this sense, the results coincide with Singh and Hussain [29] and Purushothaman et al. [52], who mentioned that focusing on dismissing $Wastes$ leads to the generation of quality products the first time and with minimum human error.

One of the most exciting relationships was $TQM \rightarrow Commercial\ benefits$, since the direct effect was only 0.120 and had a p -value of 0.046, very close to 0.05, set as a maximum cutoff, indicating no direct relationship. However, the indirect effects showed that the relationship between those variables was high and is given through the RFT and $Wastes$ tools. This means that focusing on the customer and promoting quality throughout the company favors reducing costs associated with materials and energy consumption in the production process and logically increases sales. However, it is first necessary to develop employee training, standardize processes, and eliminate $Wastes$ that does not add value. From the sensitivity analysis, it can be concluded that $TQM+$ favors $Commercial\ benefits+$, since the conditional probability was 0.464, and, in addition, the probability of generating $Commercial\ benefits-$ was 0.036; also, $TQM-$ values did not generate $Commercial\ benefits+$ because the probability was null, but it could generate $Commercial\ benefits-$, since their conditional probability was 0.478. Our results coincide in this regard with Singh, Kumar and Singh [9] and Kaouthar and Lassaad [53], who investigated TQM 's effect on the performance of manufacturing companies in India and Tunisia, respectively.

RFT has also been proven to affect $Commercial\ benefits$ directly; that is, employee training, adherence to standards, and decreasing defects allow a reduction in the cost of used material and energy consumption, which means an increase in sales. The sensitivity analysis concluded that $RFT+$ generated $Commercial\ benefits+$, as the probability was 0.440, and was unlikely to generate $Commercial\ benefits-$, since the probability was 0.040. However, $RFT-$ never caused $Commercial\ benefits+$, since the probability was null, and there exists the risk of having $Commercial\ benefits-$, since the probability was 0.542.

Finally, it is statistically and empirically demonstrated that $Wastes$ had a direct and positive effect on $Commercial\ benefits$. The elimination of $Wastes$ generated in the production process and improvements focused on minimizing the transport of material and human resources generated a reduction in the cost of materials by avoiding accidents and energy loss in conveyor equipment. The sensitivity analysis concluded that $Wastes+$ generated $Commercial\ benefits+$ with a conditional probability of 0.542, but never created $Commercial\ benefits-$, since the probability was null. Additionally, $Wastes-$ could not cause $Commercial\ benefits+$, and there was a risk of 0.444 to obtain $Commercial\ benefits-$. This work coincides with Eldessouky, Flynn, and Newman [34], who stated that getting things right required great coordination of many machines and high levels of precision, as everyday standards are higher, production batches are smaller, and products require more components.

Finally, it is important to mention that this work has the limitation of analyzing only three LM tools associated with quality in maquiladora companies and many others are being implemented. Proof of this is that the value of R-square in the dependent latent variables was not the unit, indicating that they were not fully explained, so in future research, other tools will be integrated, seeking to have greater explanatory power.

5.3. Practical Implications

Quality has been a concern of production managers since it is the basis on which the product is accepted or rejected by customers, and is directly related to the economic income of the company. In this research, it has been empirically and statistically demonstrated that TQM is a fundamental basis for the financial sustainability of maquiladora companies, both directly and indirectly.

Since TQM implementation requires economic and human resources, this study has shown that in the opinion of managers and engineers, the investments made to achieve quality in production processes will always reduce costs when acquiring materials, energy

used, and penalization for environmental accidents. Still, above all, there will be an increase in sales in a competitive market since the products meet the customer expectations.

However, *TQM* does not act alone in a production process to generate quality products, but tools such as *RFT* and *Wastes* reduction are vital to support.

Proof of the above is that the direct effect between *TQM* and *Commercial benefits* was only 0.120 and the indirect effects through *RFT* and *Wastes* were 0.379; that is, the indirect effect was greater than the direct one by more than 300%, which indicates that support tools such as *RFT* and *Wastes* strengthen the impact of *TQM* on the economic benefits obtained from its implementation.

Therefore, when applying *TQM* as part of a program focused on improving the quality of their products and production processes, it should be supported with other tools such as *RFT* and *Wastes*, as they allow for the identification of activities that do not add value, but a lot of costs that may represent a loss in customer preferences.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/math9090971/s1>, Full validation index for latent variables appears at García-Alcaraz, J.L. Data validation for paper: Effect of Quality Lean Manufacturing Tools on Commercial Benefits Gained by Mexican Maquiladoras, University of Ciudad Juárez: Ciudad Juárez, Mexico, 2021, Mendeley Data, V1, <https://doi.org/10.17632/7tkj88dmf6.1>.

Author Contributions: Conceptualization, J.L.G.A. and F.A.M.H.; Methodology, J.L.G.A. and F.A.M.H.; Software, A.R.V. and J.E.O.T.; Validation, E.J.M. and C.J.L.; Formal analysis, J.L.G.A.; Investigation, F.A.M.H.; Resources, E.J.M.; Data curation, F.A.M.H.; Writing—original draft preparation, J.L.G.A. and F.A.M.H.; Writing—review and editing, E.J.M.; Visualization, C.J.L. and J.E.O.T.; Supervision, J.L.G.A.; Project administration, J.L.G.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The full survey applied in this research is available at a repository located at <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14301275> (accessed on 18 March 2021). Dataset in SAV version for SPSS software is available at <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14308736.v1> (accessed on 18 March 2021).

Acknowledgments: The authors thank all of the managers and engineers who dedicated their time to answering the questionnaire applied in this research. We hope that the results are helpful to them.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Díaz-Reza, J.R.; García-Alcaraz, J.L.; Mendoza-Fong, J.R.; Maldonado-Macías, A.A.; Sánchez-Ramírez, C. The role of information sharing in the supply chain from maquiladoras in northern Mexico. In *Handbook of Research on Industrial Applications for Improved Supply Chain Performance*; Luis, G.-A.J., Leal, J.G., Liliana, A.-S., Briones, P.A.J., Eds.; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2020; pp. 175–199.
- IMMEX. *Index Juárez—Monthly Statistic Information (January 22, 2021)*; Asociación de Maquiladoras AC: Ciudad Juárez, Mexico, 2021; pp. 1–3.
- Palange, A.; Dhattrak, P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Mater. Today Proc.* **2021**, in press. [[CrossRef](#)]
- Islam, A.S.M.T. End of the day, who is benefited by lean manufacturing? A dilemma of communication and pricing in buyer-supplier relationship. *Manuf. Lett.* **2019**, *21*, 17–19. [[CrossRef](#)]
- Melton, T. The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chem. Eng. Res. Des.* **2005**, *83*, 662–673. [[CrossRef](#)]
- Rajenthirakumar, D.; Shankar, R. Analyzing the benefits of lean tools: A consumer durables manufacturing company case study. *Ann. Fac. Eng. Hunedoara* **2011**, *9*, 335–339.
- Hao, Z.; Liu, C.; Goh, M. Determining the effects of lean production and servitization of manufacturing on sustainable performance. *Sustain. Prod. Consum.* **2021**, *25*, 374–389. [[CrossRef](#)]

8. García-Alcaraz, J.L.; Macías, A.A.M.; Luevano, D.J.P.; Fernández, J.B.; López, A.J.G.; Macías, E.J. Main benefits obtained from a successful JIT implementation. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2016**, *86*, 2711–2722. [CrossRef]
9. Singh, V.; Kumar, A.; Singh, T. Impact of TQM on organisational performance: The case of indian manufacturing and service industry. *Oper. Res. Perspect.* **2018**, *5*, 199–217. [CrossRef]
10. Sahoo, S.; Yadav, S. Influences of tpm and TQM practices on performance of engineering product and component manufacturers. *Procedia Manuf.* **2020**, *43*, 728–735. [CrossRef]
11. Meade, D.J.; Kumar, S.; Houshyar, A. Financial analysis of a theoretical lean manufacturing implementation using hybrid simulation modeling. *J. Manuf. Syst.* **2006**, *25*, 137–152. [CrossRef]
12. Fullerton, R.R.; Kennedy, F.A.; Widener, S.K. Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. *J. Oper. Manag.* **2014**, *32*, 414–428. [CrossRef]
13. Shashi, P.C.; Cerchione, R.; Singh, R. The impact of leanness and innovativeness on environmental and financial performance: Insights from indian smes. *Int. J. Prod. Econ.* **2019**, *212*, 111–124. [CrossRef]
14. Elkhairi, A.; Fedouaki, F.; Alami, S.E. Barriers and critical success factors for implementing lean manufacturing in smes. *IFAC PapersOnLine* **2019**, *52*, 565–570. [CrossRef]
15. Abu, F.; Gholami, H.; Saman, M.Z.M.; Zakuan, N.; Streimikiene, D. The implementation of lean manufacturing in the furniture industry: A review and analysis on the motives, barriers, challenges, and the applications. *J. Clean. Prod.* **2019**, *234*, 660–680. [CrossRef]
16. Jun, M.; Cai, S.; Shin, H. TQM practice in maquiladora: Antecedents of employee satisfaction and loyalty. *J. Oper. Manag.* **2006**, *24*, 791–812. [CrossRef]
17. Lynn, R. Useful Lean Manufacturing Tools. Available online: <https://www.planview.com/resources/guide/what-is-lean-manufacturing/lean-manufacturing-tools/> (accessed on 17 April 2021).
18. Sisternas, P. The Main Lean Manufacturing Tools for Your Company [in Spanish]. Available online: <https://www.emprendepyme.net/las-principales-herramientas-de-lean-manufacturing-para-tu-empresa.html> (accessed on 16 April 2021).
19. Salleh, N.A.M.; Kasolang, S.; Jaffar, A. Simulation of integrated total quality management (TQM) with lean manufacturing (LM) practices in forming process using delmia quest. *Procedia Eng.* **2012**, *41*, 1702–1707. [CrossRef]
20. York, K.M.; Miree, C.E. Causation or covariation: An empirical re-examination of the link between TQM and financial performance. *J. Oper. Manag.* **2004**, *22*, 291–311. [CrossRef]
21. Moitra, T. From employees to customers: Impact of HRM on TQM. *HCM Sales Mark. Alliance Excell. Essent.* **2019**, *18*, 18–21.
22. Green, K.W.; Inman, R.A.; Sower, V.E.; Zebbst, P.J. Impact of jit, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *J. Manuf. Technol. Manag.* **2019**, *26*. [CrossRef]
23. García-Alcaraz, J.L.; Montalvo, F.J.F.; Sánchez-Ramírez, C.; Avelar-Sosa, L.; Saucedo, J.A.M.; Alor-Hernández, G. Importance of organizational structure for TQM success and customer satisfaction. *Wirel. Netw.* **2019**, *27*, 1601–1614. [CrossRef]
24. Sreedharan, R.V.; Sunder, V.M.; Raju, R. Critical success factors of TQM, six sigma, lean and lean six sigma: A literature review and key findings. *Benchmarking* **2018**, *25*, 3479–3504. [CrossRef]
25. Qasrawi, B.T.; Almahamid, S.M.; Qasrawi, S.T. The impact of TQM practices and km processes on organisational performance: An empirical investigation. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* **2017**, *34*, 1034–1055. [CrossRef]
26. Ooi, K.-B. TQM: A facilitator to enhance knowledge management? A structural analysis. *Expert Syst. Appl.* **2014**, *41*, 5167–5179. [CrossRef]
27. Katare, V.D.; Madurwar, M.V. Process standardization of sugarcane bagasse ash to develop durable high-volume ash concrete. *J. Build. Eng.* **2021**, *39*, 102151. [CrossRef]
28. Sutharsan, S.M.; Prasad, M.M.; Vijay, S. Productivity enhancement and waste management through lean philosophy in indian manufacturing industry. *Mater. Today Proc.* **2020**, *33*, 2981–2985. [CrossRef]
29. Singh, S.; Hussain, C.M. Chapter three—Zero waste manufacturing. In *Concepts of Advanced Zero Waste Tools*; Hussain, C.M., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; pp. 45–67.
30. Amjad, M.S.; Rafique, M.Z.; Khan, M.A. Leveraging optimized and cleaner production through industry 4.0. *Sustain. Prod. Consum.* **2021**, *26*, 859–871. [CrossRef]
31. Wang, Y.; Huang, A.; Quigley, C.A.; Li, L.; Sutherland, J.W. Tolerance allocation: Balancing quality, cost, and waste through production rate optimization. *J. Clean. Prod.* **2021**, *285*, 124837. [CrossRef]
32. Womack, J.; Jones, D. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*; Free Press: New York, NY, USA, 2003; p. 400.
33. Moshiri, M.; Charles, A.; Elkaseer, A.; Scholz, S.; Mohanty, S.; Tosello, G. An industry 4.0 framework for tooling production using metal additive manufacturing-based first-time-right smart manufacturing system. *Procedia CIRP* **2020**, *93*, 32–37. [CrossRef]
34. Eldessouky, H.M.; Flynn, J.M.; Newman, S.T. On-machine error compensation for right first time manufacture. *Procedia Manuf.* **2019**, *38*, 1362–1371. [CrossRef]
35. Sila, I. Country and sector effects on the relationships among TQM practices and key performance measures. *Int. J. Product. Perform. Manag.* **2018**, *67*, 1371. [CrossRef]
36. Álvarez-Santos, J.; Miguel-Dávila, J.-Á.; Herrera, L.; Nieto, M. Safety management system in TQM environments. *Saf. Sci.* **2018**, *101*, 135–143. [CrossRef]

37. Kumar, V.; Sharma, R.R.K. Relating management problem-solving styles of leaders to TQM focus: An empirical study. *TQM J.* **2017**, *29*, 218–239. [[CrossRef](#)]
38. Singh, S.; Ramakrishna, S.; Gupta, M.K. Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review. *J. Clean. Prod.* **2017**, *168*, 1230–1243. [[CrossRef](#)]
39. Um, N.; Park, S.-O.; Yoon, C.-W.; Jeon, T.-W. A pretreatment method for effective utilization of copper product manufacturing waste. *J. Environ. Chem. Eng.* **2021**, 105509. [[CrossRef](#)]
40. Bañuelas, R.; Antony, J.; Brace, M. An application of six sigma to reduce waste. *Qual. Reliab. Eng. Int.* **2005**, *21*, 553–570. [[CrossRef](#)]
41. Magdy, K.; Tamer, M.S. The moderating effect of structural barriers on TQM-performance relationship in egyptian service organizations. *Int. J. Qual. Serv. Sci.* **2018**, 349. [[CrossRef](#)]
42. Kappelman, L.; Prybutok, V. Empowerment, motivation, training, and TQM program implementation success. *Ind. Manag.* **1995**, *37*, 12–15.
43. Kassieh, S.K.; Yourstone, S.A. Training, performance evaluation, rewards, and TQM implementation success. *J. Qual. Manag.* **1998**, *3*, 25–38. [[CrossRef](#)]
44. García-Alcaraz, J.L.; Flor-Montalvo, F.J.; Avelar-Sosa, L.; Sánchez-Ramírez, C.; Jiménez-Macías, E. Human resource abilities and skills in TQM for sustainable enterprises. *Sustainability* **2019**, *11*, 6488. [[CrossRef](#)]
45. Bari, M.W.; Fanchen, M.; Baloch, M.A. TQM soft practices and job satisfaction; mediating role of relational psychological contract. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **2016**, *235*, 453–462. [[CrossRef](#)]
46. Hernández, F.A.M.; Alcaraz, J.L.G. *Survey to Determine the Level of Implementation of Lean Manufacturing Practices*; Autonomous University of Ciudad Juárez: Ciudad Juárez, Mexico, 2021.
47. Parsazadeh, N.; Ali, R.; Rezaei, M.; Tehrani, S.Z. The construction and validation of a usability evaluation survey for mobile learning environments. *Stud. Educ. Eval.* **2018**, *58*, 97–111. [[CrossRef](#)]
48. Kock, N. *Warppls 6.0 User Manual*; ScriptWarp Systems: Laredo, TX, USA, 2018.
49. Kock, N. Factor-based structural equation modeling with warppls. *Australas. Mark. J.* **2019**, *27*, 57–63. [[CrossRef](#)]
50. Hernández, F.A.M.; Alcaraz, J.L.G. *Dataset with Lean Manufacturing Tools and Its Commercial Benefits*; Autonomous University of Ciudad Juárez: Ciudad Juárez, Mexico, 2021.
51. Johri, S.; Kumar, D. Evaluation of effect of iso 9001:2008 standard implementation on TQM parameters in manufacturing & production processes performance in small enterprises. *Mater. Today Proc.* **2021**, in press. [[CrossRef](#)]
52. Purushothaman, M.B.; Seadon, J.; Moore, D. Waste reduction using lean tools in a multicultural environment. *J. Clean. Prod.* **2020**, *265*, 121681. [[CrossRef](#)]
53. Kaouthar, L.; Lassaad, L. Impact of TQM/six sigma practices on company's performance: Tunisian context. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* **2018**, *35*, 1881–1906. [[CrossRef](#)]

Article

Lean Manufacturing Tools Applied to Material Flow and Their Impact on Economic Sustainability

Jorge Luis García-Alcaraz ^{1,2,*} , José Roberto Díaz Reza ², Cuauhtémoc Sánchez Ramírez ³ ,
Jorge Limón Romero ⁴ , Emilio Jiménez Macías ⁵ , Carlos Javierre Lardies ⁶ and
Manuel Arnoldo Rodríguez Medina ²

- ¹ Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Autonomous University of Ciudad Juárez, Ciudad Juárez 32310, Chihuahua, Mexico
- ² Department of Industrial Engineering, Tecnológico Nacional de México/I.T. Ciudad Juárez, Ciudad Juárez 32500, Chihuahua, Mexico; roberto.dr01@itcj.edu.mx (J.R.D.R.); manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com (M.A.R.M.)
- ³ Division of Research and Postgraduate Studies, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba 94320, Veracruz, Mexico; csanchezr@ito-depi.edu.mx
- ⁴ Faculty of Engineering, Design and Architecture, Universidad Autónoma de Baja California—Campus Ensenada, Ensenada 22860, Baja California, Mexico; jorge.limon@uabc.edu.mx
- ⁵ Department of Electric Engineering, University of La Rioja, 26006 Logroño, La Rioja, Spain; emilio.jimenez@unirioja.es
- ⁶ Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Aragon, Spain; sabicjl@unizar.es
- * Correspondence: jorge.garcia@uacj.mx; Tel.: +52-656-6884843 (ext. 5433)



Citation: García-Alcaraz, J.L.; Díaz Reza, J.R.; Sánchez Ramírez, C.; Limón Romero, J.; Jiménez Macías, E.; Lardies, C.J.; Rodríguez Medina, M.A. Lean Manufacturing Tools Applied to Material Flow and Their Impact on Economic Sustainability. *Sustainability* **2021**, *13*, 10599. <https://doi.org/10.3390/su131910599>

Academic Editors: Gary Graham and Sebastian Kot

Received: 24 July 2021

Accepted: 21 September 2021

Published: 24 September 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: This paper presents a second-order structural equation model that analyzes three lean manufacturing tools associated with material flow, such as 5S, SMED, and continuous flow related to economic sustainability. The variables relate to each other through six hypotheses, tested with 169 responses to a questionnaire applied to the Mexican maquiladora industry, using the partial least squares technique and 95% confidence to estimate direct, the sum of indirect, and total effects. In addition, an analysis with conditional probabilities appears to determine how low and high implementation levels in independent variables affect the dependent variables' occurrence. Findings indicate that 5S is a lean manufacturing tool with the most increased direct effects on SMED and continuous flow. Additionally, values indicate that SMED is essential to maintain continuous flow in production lines and is vital for economic sustainability due to the time reduction in setup.

Keywords: 5S; SMED; continuous flow; economic sustainability

1. Introduction

Market and supply chains (SC) are globalized, and sometimes the cost associated with SC represents 70% [1]. This is because a product may integrate components from different countries; some parts are assembled in another and sold in a different one, making them complex material flows [2]. In addition, some companies seek to be geographically close to their customers, so they establish subsidiaries in other countries to minimize the distance to the final market.

In the specific case of Mexico, given its proximity to the United States of America (USA) as one of the biggest world markets, some foreign companies establish assembly centers in the north. They also take advantage of low labor costs and high human resources training and tariff preferences due to trade agreements among those countries, including Canada [3].

Those companies are established in Mexico but have their headquarters in other countries, depending administratively on them, and traditionally, they are called maquiladoras [4]. There are currently 5171 companies of this type in Mexico, 493 in Chihuahua state,

and, specifically, 329 are established in Ciudad Juarez. This industrial sector is essential regionally due to its economic and social implications and represents an academic and scientific research area due to those factors [5].

The maquiladora industry (MI) generates 2,702,116 direct jobs nationwide in Mexico, 484,809 in Chihuahua state, and 321,824 in Ciudad Juarez. In addition, as of January 2021, a total of USD 13,647 and 17,170 million for imports and exports, respectively, had been registered nationwide, of which 1638 and 2060 million correspond to imports and exports of companies located in Chihuahua state and, precisely, 1296 and 1631 correspond to Ciudad Juarez, which indicates the economic importance of that industrial sector [5]. Those values indicate the high volume of raw and finished products moved across the Mexican border and denote SC importance.

MI established in Mexico are companies with highly technified production systems, bringing methodologies, techniques, and tools to production lines. One methodology widely used in MI is lean manufacturing (LM), integrated by various widely studied tools [6], focusing on waste reduction.

LM tools integrate tools into primary and essential, which are the basis for all others. Then, there are LM tools associated with the production system's material flow, quality improvement, and human resources optimization. All these LM tools minimize waste or activities that do not add value to the product but cost customers [7].

The LM tools associated with the material flow in a production system aim to keep an internal SC with acceptable performance indicators. This category's most relevant LM tools are 5S, Single-Minute Exchange of Die (SMED), and continuous flow. 5S is a tool aimed at dismissing waste, organizing and improving the workplace, and preventing accidents with norms and standards [6,7]. At the same time, SMED reduces waste in a production system based on ensuring a tool changeover time of single-digit minutes [8]. However, those two LM tools focus on keeping a continuous material flow with a small lot size to improve financial income by customizing products.

This paper aims to find the relationship between those three LM tools and the economic sustainability for the MI, given the economic importance they have for the Mexican MI, specifically for Ciudad Juarez.

2. Literature Review

2.1. LM and Sustainability

The LM implementation offers several benefits to companies, and Melton [9] was the first interested in associating it with companies' income. Recently, Islam [10] indicates that LM applies to the entire SC and reviews which partners gain better economic benefits. So, one important research area is the relationship that LM has with a company's financial sustainability.

The relationship between LM and sustainability is of academic interest; for example, Saetta and Caldarelli [11] relate LM for green production; Bai et al. [12] indicate that investing in LM tools applications generates environmental and operational benefits. However, LM and sustainability are not applied in isolation; for example, Cherrafi et al. [13] aggregate six sigma to that equation; Ghobadian et al. [14] integrate innovation, Varela et al. [15] recently combined industry 4.0, and finally, Burawat [16] added transformational leadership. In conclusion, LM is associated with sustainability together with other managerial or operative methodologies.

All prior research analyzes sustainability as a generic concept, and it has three main pillars: economic, environmental, and social. Additionally, in several recent studies, sustainability focuses only on environmental aspects, ignoring the social and economic ones. However, according to Kalyar et al. [17], the main goal in LM is to generate financial income for the company.

One of the initial studies associating LM with firm performance was reported by Shah and Ward [18] almost two decades ago. Other studies, such as Yang et al. [19], integrated other variables, such as environmental impact. However, it is not until Fullerton et al. [20]

that a direct effect regarding the role of LM in the accounting and financial performance of the company is analyzed.

2.2. Specific LM Tools and Sustainability

Other studies refer to specific LM tools implementations, which are reductionist because LM is a set of managerial tools. For example, Aquilani et al. [21] and Green et al. [22] explore total quality management (TQM) impact on sustainability; Yazdi et al. [23] analyze overall equipment efficiency (OEE). In addition, Reis et al. [24] study total productive maintenance (TPM) and how it helps reduce the loss of raw materials due to deficiencies in machine calibration.

Additionally, Setiawan et al. [25] proposes a managerial model to associate 5S to sustainability in Indian manufacturing companies and Xu et al. [26] report the waste tool from LM to reduce the environmental impact in Chinese factories.

2.3. LM and Sustainability in the Maquiladora Industry

Research regarding LM tools in the MI is scarce in Mexico, even for the industrial, economic, and social importance, since several studies have focused on other research lines, such as SC. For example, Jun et al. [27] study TQM practices in MI as an antecedent of employee loyalty and satisfaction; García et al. [28] explore the JIT application and relate it to financial performance.

Likewise, Díaz-Reza et al. [29] analyze how MI applies SMED and how it has generated operational benefits and ignoring the economic income or cost reduction. Additionally, while García-Alcaraz et al. [30] report how MI applies information and communication technologies (ICT) to SC and associate their critical success factors to the benefits obtained. Finally, Morales-García et al. [31] report the effect of TPM and OEE in social sustainability, reducing accidents.

However, sustainability in MI has also been studied in an isolated way. For example, Velázquez et al. [32] report an overview of sustainability in the MI in Mexico, specifically in Sonora state; Munguía Vega et al. [33] report the integration of ergonomics and sustainability, focusing only on social sustainability.

However, Hadjimarcou et al. [34] indicate that sustainability and education in workers are the pillars in six strategies for a maquiladora's success. Cruthirds et al. [35] point out that Mexican maquiladoras have outstanding sustainability and responsive practices to gain financial income. In other words, LM practices are associated with the companies' sustainability since if they do not obtain an economic benefit, their implementation in the production lines is out of justification.

Currently, there are some studies relating LM to economic sustainability; for example, Chetthamrongchai and Jermstittiparsert [36] look for this relationship in the pharmaceutical industry in Thailand, while Fullerton and Wempe [37] do so in the United States of America. So, it is observed that research is required to relate the LM tools applied in the Mexican MI with economic benefits gained, since current studies are scarce or focus on analyzing only one LM tool with the overall performance.

This study aims to investigate a group of three LM tools associated with the material flow throughout the production system: 5S, SMED, and continuous flow, which are related to the economic sustainability they offer. Those LM tools are selected because SC in the MI is one of the most important, mainly due to the high importation and exportation rates in that industrial sector [38].

Additionally, tools such as SMED are associated with safety in workplaces because sometimes changeover occurs when machines are operating [39]. Additionally, Rodríguez-Méndez et al. [40] report that SMED is associated with other LM tools, such as JIT and facilitating on-time deliveries. Regarding 5S, Singh and Ahuja [41] indicate that this LM tool is associated directly with manufacturing performance, and it is a vital tool that generates discipline and high standards in the workplace.

The novelty of this research is that it integrates three LM in only one model and relates them to economic sustainability using a statistical technique, quantifying their relationship. Additionally, sensitivity analysis indicates how high and low LM tool implementation levels affect the MI's economic income, facilitating supply chain managers' decision-making to focus resources on specific activities.

The article is structured as follows. After this introduction, section two presents a literature review about the four variables analyzed and justifies their relationships; the third section presents the methodology followed to meet the established objective; the fourth section presents the results. Finally, the fifth section presents the conclusions and industrial implications of the results found.

3. Hypotheses

3.1. 5S

The 5S methodology is a work philosophy that gives order and meaning to work dynamics, addressing workplace disorganization situations. The 5S are Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, and Shitsuke (classification, organization, cleaning, standardization and improvement) [42]. In industrial practice, 5S focuses on improving conditions at workstations and employee habits. If the tools and equipment required to perform an activity are always classified, organized, clean, and ready to use, that becomes a custom or standard, the primary basis of 5S. As a consequence, the company obtains operational and productivity benefits [43].

However, reports indicate the extension of the lean 5S to 6S to ensure occupational safety and health [44], and some applications are reported by Misiurek and Misiurek [45] and Gnanaguru et al. [46]. However, recent studies report a new evolution, the 7S methodology, adding Spirit for employee engagement across all manufacturing levels [47,48].

In this research, the 5S implementation level in the MI is assessed by five items associated with employees' training for understanding the methodology: establishing cleaning procedures and standardizing the tools used, conducting audits to maintain those standards, giving recognition to employees for achievements, in addition to documenting the processes. In this research, it is assumed that if there are tools in place to carry out every activity, then the flow of the productive system is faster since it is easy to know where they are, and operations require low time.

3.2. Single-Minute Exchange of Die (SMED)

SMED is a response to the need to reduce production batches' size and looks to switch quickly from one product to another [49]. Traditionally, manufacturers prefer to assemble large quantities and prorate the setup cost over a high number of units. Otherwise, the entire fee associated with setup must be associated with few parts, increasing costs and reducing the market share [8].

SMED separates the time required to perform changeover, to prepare tools and machines, for internal preparation, and for external preparation. SMED divides all activities into internal and external. The internal activities are performed when the machines are working, while external activities need to stop them [50]. The central idea is to complete as many activities as possible when the machines are operating.

This research measures the SMED implementation level by seven items associated with the production system's flexibility for responding to demand adjustments. In addition, changeover with less than 10 min, if there are improvement groups, the ability to manufacture different products on a production line, and the percentage of orders delivered on time is investigated, among other things.

In this research, it is assumed that if the tools are tidy, clean, and in good condition in a workplace, then changeovers from one product to another should be fast because no time is wasted in locating them or preparing them to be used [51]. In addition, such clean workplaces avoid accidents that hinder the material flow along the production line, giving flexibility to the entire process [52]. Therefore, the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 1 (H1). *The implementation of 5S in the maquiladora industry has a direct and positive effect on SMED.*

3.3. Continuous Flow (COF)

In its ideal state, COF means that products are processed and transported directly from one stage of the production process to the next, one piece at a time, representing the optimal order size. Thus, each step of the production process works only on the part that the next one needs, just before the next one needs it. COF aims to eliminate massive inventories, delay deliveries, and ensure more market coverage since customized products can be manufactured.

To measure COF implementation in the MI, we observe whether production is organized as families, the supplier responsiveness, the tack time for activities and products, the amount of inventory in the process, and whether there are bottlenecks.

The MI must have clean, tidy work centers with tools in place to achieve the above, which facilitates quick changes that translate into a COF of parts [40]. Studies such as those by Piñeiro et al. [53] indicate that the 5S philosophy application in pharmaceutical production lines helps to decrease uncertainty in COF, so the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 2 (H2). *The implementation of 5S in the maquiladora industry has a direct effect on continuous flow.*

For the MI to be flexible and have a COF, it requires a great capacity to respond to customers and make changes quickly or in the shortest possible time [54], as this gives them the ability to adjust the production lines to generate different products, so the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 3 (H3). *The implementation of SMED in the maquiladora industry has a direct effect on continuous flow.*

3.4. Economic Sustainability (ES)

The LM application in MI is not fortuitous since managers expect to obtain benefits from their implementation, and the most important is ES. ES is a globalized term that includes financial and accounting aspects, which are undoubtedly essential, and integrates aspects associated with sustainability, where the optimization of available resources is sought [55]. In conclusion, ES means implementing profitable strategies and practices that improve the rational use of resources while maximizing the benefits provided by companies [56].

To measure ES in the MI, it is necessary to quantify the reduction in production costs [57], new product design, and energy consumption [58], inventory management, rejection of production orders, raw materials entering the production process, and waste generated from processing [59].

The ES may be due to various LM tools implemented in the production lines. Mohan, Sharma, and Lata [60] mention that workstations with installed programs such as 5S have increased efficiency, productivity, and financial performance. Additionally, Jugraj Singh and Inderpreet Singh [61] indicate that 5S, combined with quality programs, has supported a sustainable performance because these tools are the most important of LM. Therefore, the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 4 (H4). *The implementation of 5S in the maquiladora industry has a direct effect on economic sustainability.*

Another source of ES is SMED because it improves operating rates on production lines combined with other techniques. For example, Tekin, Arslantere, Etlioğlu, Koyuncuoğlu, and Tekin [8] indicate that SMED and Jidoka generate greater flexibility to production

processes, reducing the idle time in machines due to product changes, and that means cost reduction. In turn, Díaz-Reza, García-Alcaraz, Martínez-Loya, Blanco-Fernández, Jiménez-Macías, and Avelar-Sosa [29] indicate that SMED has allowed MI to generate a greater diversity of products for final customers, representing the best market coverage and monetary income. Therefore, the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 5 (H5). *The implementation of SMED in the maquiladora industry has a direct effect on economic sustainability.*

Although mass production was efficient for a long time, it had the disadvantage of having little variety in products, but low production costs. These problems have been solved so that the ideal is to have a production order for a single product, as proposed by the COF, which gives more market coverage with customized products. The benefits of having a COF are that each product is produced only when required, minimizing in-process inventories and storage [54]. Additionally, Vitayasak et al. [62] indicate that a machine's layout contributes to having a COF with a shorter waiting time for material, and an improved relationship with the customer strengthens the economic sustainability. Therefore, the following hypothesis is proposed:

Hypothesis 6 (H6). *The implementation of continuous flow in the maquiladora industry has a direct effect on economic sustainability.*

Figure 1 graphically presents the relationships between the analyzed variables that have been established as hypotheses. Observe the arrow direction to identify the independent variable where the arrow begins and the dependent variable where the arrow ends. In this proposed model, we assumed that all effects are positive. The following paragraphs describe the methodology for testing the proposed hypotheses.

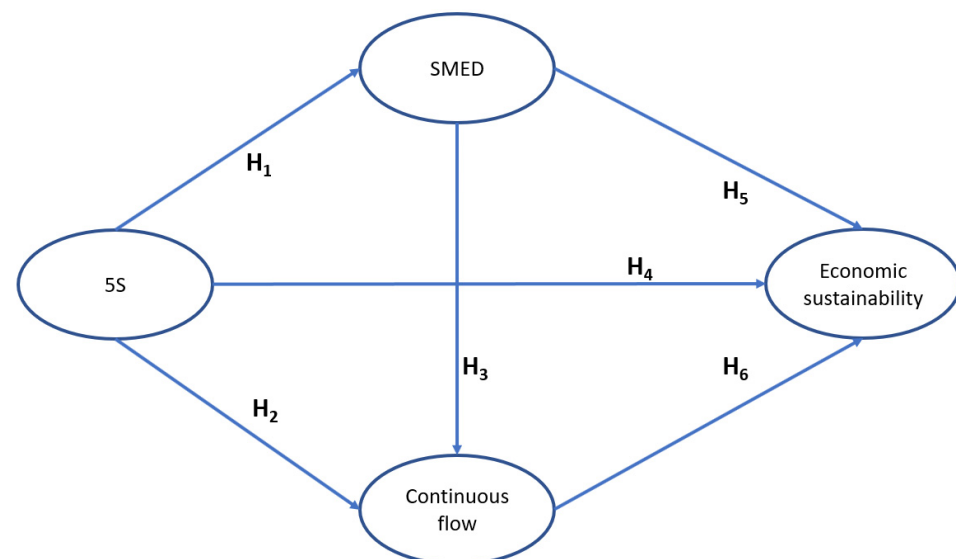


Figure 1. Proposed Model.

4. Methodology

4.1. Questionnaire Design

To validate the hypotheses in Figure 1, information from the MI is required, so a questionnaire is designed based on a literature review conducted in databases such as Scopus, ScienceDirect, Springer, Ingenta, and others. The keywords in the search refer to the four variables analyzed: 5S, SMED, continuous flow, and economic sustainability. The literature review aims to identify activities indicating LM tool implementation levels

and parameters measuring economic sustainability [63]. This process represents a rational validation.

However, since the questionnaire is designed using a literature review process, obtaining items used by other authors in different countries and industrial sectors, a judge's validation is applied to adapt it to the Mexican MI [64]. The judges were three academic and ten industrial managers. Judges had to assess whether the items in the questionnaire had sufficiency, clarity, coherence, and relevance. After three rounds with judges, a final questionnaire was defined.

Based on the literature review and judges' validation, a first questionnaire draft is constructed, divided into three sections. The first section obtains demographic information from respondents, the industrial subsector, years of experience in current job positions, and gender. The second section contains items related to each of the three LM tools analyzed. In this case, the 5S are integrated by six items, SMED by seven items, and continuous flow by six items. Finally, the last section contains seven items associated with economic sustainability and how the MI measures the LM benefits.

The final survey is available from Morales García et al. [65]. The items for SMED are obtained from Díaz-Reza, García-Alcaraz, Martínez-Loya, Blanco-Fernández, Jiménez-Macías, and Avelar-Sosa [29], 5S are integrated from Setiawan, Salleh, Ariff, Rahman, Mohamad, Sulaiman, Zaini, and Ito [25], continuous flow is integrated from Amelec [66] and Rodríguez-Méndez, Sánchez-Partida, Martínez-Flores, and Arvizu-Barrón [40], and finally, economic sustainability is integrated from Girón et al. [67].

Items must be answered on a 6-point Likert scale, where one indicates that the activity is not performed, or the benefit is not obtained. In contrast, six indicates that the activity is always performed, or the benefit is always obtained.

4.2. Questionnaire Administration

The questionnaire is applied to managers, engineers, and supervisors of production lines since they are the ones who know about the LM tools' implementation and the benefits obtained. The survey is applied to the MI established in Ciudad Juárez in Mexico. As previously stated, MI represents the primary industrial sector in that region, and it has a high social and economic impact [68].

Currently, there are 328 MIs in Ciudad Juárez, and that is the target population. The automotive sector accounts for 32%, electronics for 29%, medical for 7%, plastics and metals for 12%, call centers for 3%, packaging for 8%, and miscellaneous for 9% [69]. This MI is occupying 67% of the region's active direct labor force, followed by the business, personal, and home services sectors with only 9%, indicating indirectly associated enterprises [70].

The questionnaire is uploaded into a specialized webpage for online application since access to the MI is limited due to the COVID-19 pandemic. An email is sent to all potential respondents attaching the electronic link to the questionnaire. If after 15 days, no response to the questionnaire is obtained, a second invitation is sent, and if after three attempts, no reply is received, then that case is discarded.

4.3. Information Gathering and Debugging

The platform stays open to receive information from 1 October to 15 December 2020. After that date, a database in Excel format is downloaded and analyzed in SPSS v.25 software to perform a debugging process that includes the following tasks:

- Standard deviation (SD) estimation. If SD values are less than 0.5, then that case is discarded as a non-committed respondent.
- Outlier identification. Each item is standardized and absolute values greater than or equal to 4 are considered extreme values and replaced by the median.
- Missing values identification. The median replaces missing values if the average is less than 10%; otherwise, that case is eliminated.

4.4. Latent Variable Validation

Before integrating latent variables in the model, all of them are validated according to the following indices:

- R^2 and adjusted R^2 for parametric predictive validation, which must be greater than 0.02 [71].
- Cronbach's alpha and composite reliability index for internal consistency, which must be greater than 0.7 [72].
- The average variance extracted (AVE) for discriminant validity, which must be greater than 0.5 [72].
- Variance inflation factor (VIF) for measuring collinearity between variables and common method bias (CMB), which must be less than 3.3 [73].
- Q^2 for nonparametric predictive validation, which should be similar to R^2 [71].

Here, it is essential to note that some indexes for latent variables are iteratively estimated, for example, the Cronbach's alpha and the VIF, until obtaining an acceptable value, and some items are discarded from the analysis to improve those validity indexes.

4.5. Descriptive Analysis of the Items

The items that remain in the latent variables after being validated are analyzed as follows to know the central and dispersion measures in univariate analysis [74]:

- The median of the items is obtained as a measure of central tendency, given that the data are on an ordinal scale. High median values indicate that the item's activity is always executed, or the benefit is always obtained. Low values indicate that the activity is not achieved, or the benefit is not obtained.
- The interquartile range of the items is obtained as a measure of dispersion, which is the difference between the third and first quartile. Low values indicate a high consensus among responders.

4.6. Structural Equation Model

The structural equation modeling (SEM) technique is selected to test the hypotheses proposed in Figure 1; specifically, the partial least squares (PLS) method, based on the linear regression technique, is used to estimate standardized dependence values between latent variables. PLS is integrated into the WarpPLS v.7[®] software [75], and it applies when there are no normally distributed data, obtained on an ordinal scale or with a small sample [71].

The analysis is performed with 95% confidence. Before the model is interpreted, specific efficiency and quality indexes of the model are validated, such as the following [71]:

- Average path coefficient (APC) to measure the global significance of the direct effect. The p-value associated must be less than 0.05.
- Average R^2 (ARS) and average adjusted R^2 (AARS) to measure the variance explained by independent variables on dependent variables, and the associated p-value must be less than 0.05.
- Average block VIF (AVIF) and average full collinearity VIF (AFVIF) to measure general collinearity, which should be less than 3.3.
- Tenenhaus GoF index (GoF) measures the data to the model and should be greater than 0.36.

Three types of effects are measured. First, direct effects are used to test the hypothesis in Figure 1. A standardized β value is obtained using PLS for each relationship between variables and associated with a p-value that must be less than 0.05 [76]. The null hypothesis tested is $\beta = 0$, versus the alternative hypothesis that $\beta \neq 0$. If it is statistically proven that $\beta = 0$, then it is concluded that there is no relationship between the variables; otherwise, if it is proven that $\beta \neq 0$, there is a relationship.

The second one is called indirect effect and occurs through third variables named mediators and are of particular interest when the direct effects are not statistically significant. In this case, the total sum of indirect effects is reported with their associated p-value.

Finally, the third one is the total effect, which represents the sum of direct and indirect effects.

Additionally, an R^2 value is reported with latent dependent variables in the model as a measure of variance explained by all independent variables, contributing an effect size (ES). So, for every direct, indirect, and total effect, an ES is reported.

4.7. Sensitivity Analysis

Since PLS performs its calculations based on standardized values, then probabilities can be calculated when the different variables occur at low $P(Z < -1)$ and high $P(Z > 1)$ scenarios [71]. Probabilities are calculated for the variables occurring in isolation in high and low scenarios, jointly in a combination of scenarios (represented by &) and the conditional probability of the dependent variable occurring, given that the dependent variable has occurred (represented by IF).

Specifically, this paper reports a probability of joint occurrence of two variables in different scenarios, such as $P(Z_i > 1) \cap P(Z_d > 1)$, $P(Z_i > 1) \cap P(Z_d < -1)$, $P(Z_i < -1) \cap P(Z_d > 1)$, and $P(Z_i < -1) \cap P(Z_d < -1)$, as well as the conditional probability for $P(Z_d > 1)/P(Z_i > 1)$, $P(Z_d > 1)/P(Z_i < 1)$, $P(Z_d < -1)/P(Z_i > 1)$ and $P(Z_d < -1)/P(Z_i < -1)$, where Z_i represents a standardized value for an independent variable and Z_d for a dependent variable; -1 represents a low scenario for a variable and 1 a high scenario.

5. Results

5.1. Descriptive Analysis of the Sample and Items

One hundred and seventy-eight responses to the questionnaire were collected from 433 emails sent, giving a response rate of 41.10%; however, nine were discarded for not complying with the inclusion principles, so only 169 were analyzed (57 women and 112 men). Regarding experience in the position, 44 had 2 to 3 years, 26 had 3 to 5 years, 75 had 5 to 10 years, and 24 had more than ten years. The final dataset analyzed is available from Martínez Hernández and García Alcaraz [77].

Table 1 illustrates the respondents' industrial sectors and job positions, where it can be seen that the automotive and electrical sectors were the ones that participated the most, followed by medical and electronic. In this research, the machining, logistics, and electronic industrial sector have low participation. However, this sector participation is proportional to the current number of MI established in Ciudad Juarez, Mexico.

Table 1. Descriptive analysis of the sample.

Industrial Sector	Manager	Engineer	Supervisor	Total	Percentage
Automotive	8	28	39	75	44.37
Medical	3	16	21	40	23.66
Electric	6	17	12	35	20.71
Electronic	0	4	5	9	5.32
Logistic	0	2	5	7	4.14
Machining	0	1	2	3	1.77
Total	17	68	81	169	100

Additionally, regarding the job position, it can be seen that supervisors and engineers were the most responsive, with 81 and 68, respectively, and representing 81.16%. This participation rate indicates that information analyzed in this research comes from persons in production lines every day, with experience in their job, and their opinions are reliable.

Table 2 illustrates the descriptive analysis of the items, where the median as a measure of central tendency and the interquartile range as a measure of dispersion are shown. The items are ordered in descending way according to the median. According to those values, the most critical item for 5S is to have standards regarding how to carry out every piece of work, and the second most is to have documented methods and procedures. That indicates

that Seiton and Seiketsu (order and standardization) are widely supervised when 5S is applied in MI.

Table 2. Descriptive analysis of the items.

5S	Median	IR
There is a standard of how the work area should be maintained.	5.11	1.60
Methods are documented and standardized through procedures.	5.03	1.70
The achievements obtained after implementing the 5Ss are exposed.	4.78	1.86
SMED		
When using SMED, techniques such as DMAIC are followed to implement the methodology successfully.	4.69	1.73
There is awareness of the cost of having idle equipment.	4.59	1.62
Improvement groups are in place to reduce idle time on machinery.	4.54	1.71
Continuous flow		
The production process is organized on product families	4.82	1.73
Bottlenecks are identified.	4.79	1.89
Continuous improvement groups are in place to help eliminate unnecessary operations.	4.64	1.95
Material suppliers respond quickly	4.46	1.77
The takt time of the production line is known and followed.	4.46	1.63
Economic sustainability		
There is a reduction in the cost of material acquisition.	4.73	1.74
Economic benefits have increased in the last two years.	4.68	1.77
Sales have increased in the last two years.	4.65	1.77
There is a reduction in the cost of energy utilization.	4.62	1.91

The critical item for SMED is to follow a DMAIC procedure for its implementation because SMED aims to reduce the changeover times and to create awareness regarding the cost due to idle machinery. Regarding continuous flow, the most important is to have a production process organized on product families and identify the bottleneck as a barrier to material flow. Finally, the most important for economic sustainability is cost reduction due to raw material acquisition and increasing sales.

5.2. Latent Variable Validation

Table 3 shows the validation indexes for latent variables. All variables meet the cut-off values established in the methodology, so they are integrated into the structural equation model. According to R^2 and adjusted R^2 , dependent variables have enough parametric predictive validity, composite reliability, and Cronbach's alpha indicates adequate internal and construct validity. Additionally, AVE indicates good convergent validity and VIF suggests the absence of CMB and collinearity problems. Finally, Q^2 demonstrates that there is acceptable nonparametric predictive validity in all dependent latent variables.

Table 3. Latent variable validation.

Index	5S	SMED	COF	ES	Cutoff
R^2		0.327	0.503	0.463	>0.02
Adjusted R^2		0.323	0.497	0.453	>0.02
Composite reliability	0.929	0.923	0.886	0.923	>0.7
Cronbach's alpha	0.885	0.875	0.838	0.889	>0.7
AVE	0.813	0.800	0.609	0.751	>0.5
Full collinearity VIF	1.629	2.178	2.239	1.831	<3.3
Q^2		0.325	0.502	0.471	Similar to R^2

5.3. Structural Equation Model

Before interpreting the model, its efficiency indexes are calculated and listed below. According to those values, the model fulfills the cut-off value, so it is interpreted. APC indicates that the β values are adequate on average, and there are relationships among variables. ARS and AARS indicate adequate predictive validity in the model; AVIF and AFVIF indicate the absence of collinearity and the CMB problem. Finally, the GoF shows that the data have a good fit for the model.

- Average path coefficient (APC) = 0.356, $P < 0.001$
- Average R-squared (ARS) = 0.431, $P < 0.001$
- Average adjusted R-squared (AARS) = 0.424, $P < 0.001$
- Average block VIF (AVIF) = 1.707, acceptable if ≤ 3.3
- Average full collinearity VIF (AFVIF) = 1.969, acceptable if ≤ 3.3
- Tenenhaus GoF (GoF) = 0.566, large ≥ 0.36

Figure 2 illustrates the model evaluated, where the β values and the associated p-values are shown for every relationship. However, R^2 is illustrated for latent dependent variables.

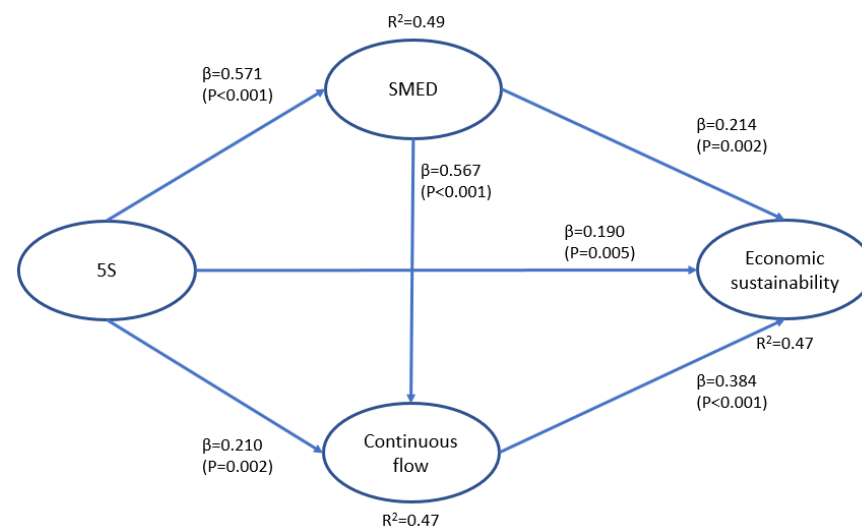


Figure 2. Evaluated model.

5.3.1. Direct effect

Figure 2 illustrates all the direct effects, and it is observed that all of them are statistically significant since the p-value associated with each β value is less than 0.05. Table 4 summarizes the relationships between variables, the hypothesis they represent, the β -values, their p-value, and the conclusion for them.

Table 4. Conclusions regarding the direct effects and hypotheses.

Hypothesis	Relationship	β	p-Value	Conclusion
H ₁	5S→SMED	0.571	<0.001	Supported
H ₂	5S→COF	0.210	=0.002	Supported
H ₃	SMED→COF	0.567	<0.001	Supported
H ₄	5S→ES	0.190	=0.005	Supported
H ₅	SMED→ES	0.214	=0.002	Supported
H ₆	COF→ES	0.384	<0.001	Supported

Interpreting the H_1 as an example, findings indicate that there is enough statistical evidence to declare that 5S has a direct and positive effect on SMED because when the first variable increases its standard deviation in one unit, the second one goes up 0.571 units.

Figure 2 shows that the dependent variables have associated an R^2 value to measure the variance explained by the independent variables. However, it is unknown how much each independent variable contributes, called effect size (ES). For this reason, Table 5 illustrates the decomposition of this R^2 value into its components, or the ES of each independent variable. The sum of the ES in a dependent variable is equal to the R^2 value.

Table 5. Contribution of direct effects in R^2 .

	5S	SMED	COF	R^2
SMED	0.327			0.327
COF	0.113	0.390		0.503
ES	0.098	0.124	0.241	0.463

According to the information contained in Table 5, we can conclude the following:

- SMED is explained by 5S by 32.7%, and is the only variable that directly affects it.
- COF is explained as 50.3%; however, 5S contributes 11.3%, and SMED contributes 39.0%. Given that the SEMD contribution to explaining COF is bigger, then those values allow concluding that maquiladoras that wish to have a COF in their production lines should focus on having high levels of SMED implementation because that means low idle time for machinery.
- ES is explained as 46.3%; however, 5S contributes 9.8%, SMED contributes 12.4%, and COF contributes 24.1%. Those values conclude that COF is the most critical variable in explaining ES, so maquiladoras should be concerned about maintaining their production lines with a continuous flow to be economically profitable, increasing financial income. However, SMED favors COF and 5S favors SMED, so a critical route for LM techniques supporting ES is as follows: 5S→SMED→COF→ES.

5.3.2. Sum of Indirect and Total Effects

Table 6 illustrates the sum of indirect and total effects, the associated p-values, and the effect size (ES) for every relationship. Observe that all direct and total effects are statistically significant, as the associated p-values are less than 0.05 in all cases.

Table 6. Sum of indirect and total effects.

Sum of Indirect Effects			
	5S	SMED	COF
COF	$\beta = 0.324$ $p < 0.001$ ES = 0.174		
ES	$\beta = 0.327$ $p < 0.001$ ES = 0.168	$\beta = 0.218$ $p < 0.001$ ES = 0.126	
Total Effects			
SMED	$\beta = 0.571$ $p < 0.001$ ES = 0.327		
COF	$\beta = 0.535$ $p < 0.001$ ES = 0.286	$\beta = 0.567$ $p < 0.001$ ES = 0.390	
ES	$\beta = 0.518$ $p < 0.001$ ES = 0.266	$\beta = 0.432$ $p < 0.001$ ES = 0.250	$\beta = 0.384$ $p < 0.001$ ES = 0.241

There is a particular interest for the indirect effect between 5S→ES since the direct effect was only 0.190, but the indirect effect is 0.327; so, the indirect effect is 70% larger, indicating the importance of SMED and COF as mediating variables in that relationship.

Something similar occurs with the indirect relationship between 5S→COF since the direct effect is only 0.210, but the indirect effect through SMED as a mediating variable is 0.327, 55% larger.

5.3.3. Sensitivity Analysis

Table 7 illustrates the sensitivity analysis. High scenarios are indicated by the symbol “+”, and low scenarios are shown by “−”. The joint probabilities in a combination of scenarios are represented by & and the conditional probabilities by If. For example, 5S+ has an occurrence probability of 0.219, but 5S− has 0.124. Additionally, the probability of finding 5S+ and SMED+ simultaneously in a production line is 0.083, a shallow value, because managers prefer to have high values; however, if 5S+ has occurred, then there is a conditional probability of 0.378 of finding SMED+, indicating the dependence importance.

Table 7. Sensitivity analysis.

Level		5S+	5S−	SMED+	SMED−	COF+	COF−
	Prob	0.219	0.124	0.118	0.118	0.130	
SMED+	0.118	& = 0.083 If = 0.378	& = 0.000 If = 0.000				
SMED−	0.118	& = 0.012 If = 0.054	& = 0.065 If = 0.524				
COF+	0.130	& = 0.083 If = 0.378	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.077 If = 0.650	& = 0.000 If = 0.000		
COF−	0.160	& = 0.012 If = 0.054	& = 0.089 If = 0.714	& = 0.006 If = 0.050	& = 0.095 If = 0.800		
ES+	0.154	& = 0.089 If = 0.405	& = 0.006 If = 0.048	& = 0.089 If = 0.750	& = 0.006 If = 0.050	& = 0.083 If = 0.636	& = 0.006 If = 0.037
ES−	0.166	& = 0.024 If = 0.108	& = 0.065 If = 0.524	& = 0.012 If = 0.100	& = 0.071 If = 0.600	& = 0.006 If = 0.045	& = 0.083 If = 0.519

In addition, 5S− never is associated with SMED+ because the probabilities are zero. In conclusion, investment in 5S is a warranty for SMED in MI. All other relationships are described in the Conclusions section.

6. Conclusions and Industrial Implications

6.1. Regarding the Structural Equation Model

Regarding the hypotheses proposed in Figure 1, the following is concluded based on the β and p-value associated with the direct effects.

H₁. There is enough statistical evidence to state that 5S has a direct and positive effect on SMED implementation in MI, since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second goes up by 0.571 units. This result indicates that activities focused on maintaining a clean work area, with tools in place and high standards regarding all tasks, facilitate quick changeovers in maquiladora production lines to move from one product to another. With these achievements, maquiladoras will have greater flexibility with customers, and small lots deliver more customized batches, giving them a competitive advantage.

H₂. There is enough statistical evidence to state that 5S has a direct and positive effect on implementing continuous flow in the MI, since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second goes up by 0.210 units. However, an indirect effect of 0.324 units through SMED as a mediating variable gives a total effect of 0.571 units. The above confirms that maintaining clean work areas, with tools in place and with high standards, allows generating a continuous flow in production lines of MI, reducing idle time in machinery.

H₃. There is enough statistical evidence to state that SMED has a direct and positive effect on implementing continuous flow in the MI since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second goes up by 0.567 units. This result indicates

that rapid changeovers in production lines to move from one product to another in the MI facilitate the continuous flow of materials, since less time is lost with machines and equipment stopped for setups.

H₄. There is enough statistical evidence to state that the 5S implementation has a direct and positive effect on economic sustainability in the MI since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second one goes up by 0.190 units. However, 5S also has an indirect effect on ES, through COF and SMED, of 0.327 units, which gives a total effect of 0.518 units. The above findings indicate that the MI focused on maintaining clean work areas, having work tools in place, and maintaining high standards obtain economic benefits, indicating the monetary importance of 5S. Additionally, here it is essential to mention the role of the mediating variables of COF and SMED since the indirect effect through them is bigger than that generated directly.

H₅. There is sufficient statistical evidence to state that the SMED implementation has a direct and positive effect on economic sustainability in MI, since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second goes up by 0.214 units. However, COF has an indirect effect of 0.218 units, giving a total effect of 0.432 units. These results indicate that the rapid changeovers in the production lines generate an economic benefit to the maquiladoras. This is because machines and tools have higher use and a reduced idle time, and the OEE increases.

H₆. There is enough statistical evidence to state that the COF implementation has a direct and positive effect on economic sustainability in MI, since when the first variable increases its standard deviation by one unit, the second increases it by 0.384 units. These results indicate that by having a COF in production lines, there are no inventories in the process. In addition, there is less waste, indicating that the machines and tools are in perfect condition, which translates into lower production costs.

6.2. Regarding the Sensitivity Analysis

Similarly, interpreting the sensitivity analysis, a manager can identify how low scenarios for variables are a risk or how favorable high scenarios obtain certain benefits. The following conclusions can be drawn:

- Managers should strive to achieve 5S+, which guarantees SMED+, COF+, and ES+ with a conditional probability of 0.378, 0.378, and 0.405. These findings indicate that investing and obtaining 5S+ will facilitate the implementation of SMED, COF, and ES. Additionally, 5S+ is weakly associated with SMED−, COF− and ES−, since the occurrence probabilities are 0.0054, 0.012, and 0.108, respectively.
- However, 5S− is a significant risk for managers since the conditional probability of SMED−, COF− and ES− occurring is 0.524, 0.714, and 0.524, respectively. These findings indicate that 5S− is a barrier to proper SMED implementation or rapid changeovers in production lines, slowing down the process of adapting them to start the production process of another product. Additionally, they decrease the constant materials flow, affecting the production costs and competitiveness in the MI.
- Managers should seek SMED+, since that facilitates obtaining COF+ and ES+ with a probability of 0.650 and 0.750, respectively. The above indicates that proper SMED implementation favors COF in the production lines and undoubtedly generates an economic benefit to MI since it reduces machine idle times due to changes in the production system. In addition, SMED+ has no association with COF− and ES−, as the conditional probabilities are low, only 0.050 and 0.100, respectively.
- However, SMED− is a risk for the production lines since it can generate COF− and ES− with a probability of 0.800 and 0.600. These results indicate that low levels of SMED implementation can lead to a slow flow of materials in the production system and an increase in the production cost since there will be idle machines and some work in process. Similarly, SMED− is not associated with COF+ and ES+, as the conditional probabilities of occurrence are low, warranting the investment of resources by managers.

- Likewise, having a COF+ in the production lines should be ensured, as it favors ES+ with a probability of 0.636. However, managers should be careful not to have COF−, as that can generate ES− with a probability of 0.519.

As a general conclusion, it can be mentioned that LM tools associated with material flow, such as 5S, SMED, and continuous flow, are interrelated and have direct and total direct effects on economic sustainability in the MI. The findings indicate that implementing these LM tools is justified, as their implementation always offers benefits.

7. Limitations and Future Research

Lean manufacturing is a set of several tools; however, only three tools associated with materials flow in the production system have been analyzed in this study. Furthermore, the R^2 values for the dependent variables are less than one, indicating that other tools explain them and favor their implementation. In future work, the LM tools will be integrated according to the LM pillars and analyzed with second-order structural equation models, increasing the predictive capacity of the dependent variables, such as sustainability.

Author Contributions: Conceptualization, J.L.G.-A. and J.R.D.R.; methodology, J.L.G.-A. and C.S.R.; software, J.L.R. and E.J.M.; validation, C.J.L. and J.R.D.R.; formal analysis, J.L.G.-A. and M.A.R.M.; investigation, J.L.G.-A. and J.R.D.R.; resources, E.J.M. and M.A.R.M.; data curation, C.J.L.; writing—original draft preparation, J.L.G.-A.; writing—review and editing, J.L.R.; visualization, C.S.R.; supervision, J.L.G.-A.; project administration, J.R.D.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Ethical review and approval were waived for this study, because Institutional Review Board Statement indicates that this research is based in an online survey and only requires to obtain an online consent from all responders and guarantee the anonymity for all of them.

Informed Consent Statement: Online informed consent has been obtained from all responders to publish their information; however, the anonymity of all respondents has always been preserved throughout the questionnaire. The databases that have been created with all answers given are entirely anonymous.

Data Availability Statement: The final dataset used for the structural equation model can be consulted at <https://doi.org/10.17632/tht522mbph.1>, accessed on 16 June 2021.

Acknowledgments: The authors appreciate all managers and engineers who responded to the questionnaire. We hope that the findings here reported will be helpful in the production lines they manage.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Puche, J.; Costas, J.; Ponte, B.; Pino, R.; de la Fuente, D. The effect of supply chain noise on the financial performance of kanban and drum-buffer-rope: An agent-based perspective. *Expert Syst. Appl.* **2019**, *120*, 87–102. [CrossRef]
2. Birasnav, M.; Bienstock, J. Supply chain integration, advanced manufacturing technology, and strategic leadership: An empirical study. *Comput. Ind. Eng.* **2019**, *130*, 142–157. [CrossRef]
3. Garcia-Alcaraz, J.L.; Maldonado-Macias, A.A.; Hernandez-Arellano, J.L.; Blanco-Fernandez, J.; Jimenez-Macias, E.; Saenz-Diez Muro, J.C. The impact of human resources on the agility, flexibility and performance of wine supply chains. *Agric. Econ.* **2017**, *63*, 175–184.
4. Alcaraz, J.L.G.; Hernández, F.A.M.; Tiznado, J.E.O.; Vargas, A.R.; Macías, E.J.; Lardies, C.J. Effect of quality lean manufacturing tools on commercial benefits gained by Mexican maquiladoras. *Mathematics* **2021**, *9*, 971. [CrossRef]
5. IMMEX. *Monthly Statistics Report—General Information about Maquiladoras*; IMMEX: Ciudad Juárez, Mexico, 2021; pp. 1–3.
6. Palange, A.; Dhattrak, P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Mater. Today Proc.* **2021**, *46*, 729–736. [CrossRef]
7. Yadav, G.; Luthra, S.; Huisingh, D.; Mangla, S.K.; Narkhede, B.E.; Liu, Y. Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. *J. Clean. Prod.* **2020**, *245*, 118726. [CrossRef]

8. Tekin, M.; Arslandere, M.; Etioglu, M.; Koyuncuoğlu, Ö.; Tekin, E. An Application of Smed and Jidoka in Lean Production. In *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*; Durakbasa, N.M., Gencyilmaz, M.G., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Germany, 2019; pp. 530–545.
9. Melton, T. The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chem. Eng. Res. Des.* **2005**, *83*, 662–673. [[CrossRef](#)]
10. Islam, A.S.M.T. End of the day, who is benefited by lean manufacturing? A dilemma of communication and pricing in buyer-supplier relationship. *Manuf. Lett.* **2019**, *21*, 17–19. [[CrossRef](#)]
11. Saetta, S.; Caldarelli, V. Lean Production as a Tool for Green Production: The Green Foundry Case Study. *Procedia Manuf.* **2020**, *42*, 498–502. [[CrossRef](#)]
12. Bai, C.; Satir, A.; Sarkis, J. Investing in lean manufacturing practices: An environmental and operational perspective. *Int. J. Prod. Res.* **2019**, *57*, 1037–1051. [[CrossRef](#)]
13. Cherrafi, A.; Elfezazi, S.; Chiarini, A.; Mokhlis, A.; Benhida, K. The integration of lean manufacturing, six sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *J. Clean. Prod.* **2016**, *139*, 828–846. [[CrossRef](#)]
14. Ghobadian, A.; Talavera, I.; Bhattacharya, A.; Kumar, V.; Garza-Reyes, J.A.; O'Regan, N. Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. *Int. J. Prod. Econ.* **2018**, *219*, 457–468. [[CrossRef](#)]
15. Varela, L.; Araújo, A.; Ávila, P.; Castro, H.; Putnik, G. Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability. *Sustainability* **2019**, *11*, 1439. [[CrossRef](#)]
16. Burawat, P. The mediate effect of lean manufacturing on the relationship between transformatonal leadership and sustainability performance in thai smes. *Int. J. Appl. Eng. Res.* **2017**, *12*, 11647–11657.
17. Kalyar, M.N.; Shafique, I.; Abid, A. Role of lean manufacturing and environmental management practices in eliciting environmental and financial performance: The contingent effect of institutional pressures. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26*, 24967–24978. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. Shah, R.; Ward, P.T. Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *J. Oper. Manag.* **2003**, *21*, 129–149. [[CrossRef](#)]
19. Yang, M.G.; Hong, P.; Modi, S.B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. *Int. J. Prod. Econ.* **2011**, *129*, 251–261. [[CrossRef](#)]
20. Fullerton, R.R.; Kennedy, F.A.; Widener, S.K. Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. *J. Oper. Manag.* **2014**, *32*, 414–428. [[CrossRef](#)]
21. Aquilani, B.; Silvestri, C.; Ruggieri, A. Sustainability, TQM and value co-creation processes: The role of critical success factors. *Sustainability* **2016**, *8*, 995. [[CrossRef](#)]
22. Green, K.W.; Sower, V.E.; Zebst, P.J.; Inman, R.A. Impact of JIT, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *J. Manuf. Technol. Manag.* **2019**, *30*, 26–47. [[CrossRef](#)]
23. Yazdi, P.G.; Azizi, A.; Hashemipour, M. An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach. *Sustainability* **2018**, *10*, 3031. [[CrossRef](#)]
24. Des Reis, M.D.O.; Godina, R.; Pimentel, C.; Silva, F.J.G.; Matias, J.C.O. A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *Procedia Manuf.* **2019**, *38*, 908–915. [[CrossRef](#)]
25. Setiawan, N.; Salleh, M.R.; Ariff, H.A.; Rahman, M.A.A.; Mohamad, E.; Sulaiman, M.A.; Zaini, F.F.; Ito, T. A proposal of performance measurement and management model for 5s sustainability in manufacturing SMES: A review. *J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf.* **2021**, *15*, 1–15. [[CrossRef](#)]
26. Xu, Y.; Ramzan, S.; Munir, H.; Liu, C.; Gupta, B. The adoption of online e-waste collection platform to improve environmental sustainability: An empirical study of Chinese millennials. *Manag. Environ. Qual. An. Int. J.* **2020**, *32*, 193–209.
27. Jun, M.; Cai, S.; Shin, H. TQM practice in maquiladora: Antecedents of employee satisfaction and loyalty. *J. Oper. Manag.* **2006**, *24*, 791–812. [[CrossRef](#)]
28. García, J.L.; Rivera, L.; Blanco, J.; Jiménez, E.; Martínez, E. Structural equations modelling for relational analysis of JIT performance in maquiladora sector. *Int. J. Prod. Res.* **2014**, *52*, 4931–4949. [[CrossRef](#)]
29. Díaz-Reza, J.R.; García-Alcaraz, J.L.; Martínez-Loya, V.; Blanco-Fernández, J.; Jiménez-Macías, E.; Avelar-Sosa, L. The effect of smed on benefits gained in maquiladora industry. *Sustainability* **2016**, *8*, 1237. [[CrossRef](#)]
30. García-Alcaraz, J.L.; Martínez-Loya, V.; Díaz-Reza, J.R.; Blanco-Fernández, J.; Jiménez-Macías, E.; López, A.J.G. Effect of ICT integration on SC flexibility, agility and company' performance: The Mexican maquiladora experience. *Wirel. Netw.* **2020**, *26*, 4805–4818. [[CrossRef](#)]
31. Morales-García, A.S.; Díaz-Reza, J.R.; García-Alcaraz, J.L. Effect of TPM and OEE on the social performance of companies. In *Studies in Computational Intelligence*; Springer Science and Business Media Deutschland GmbH: Berlin, Germany, 2021; Volume 966, pp. 119–141.
32. Velázquez, L.; Munguía, N.; De Los Ángeles Navarrete, M.; Zavala, A. An overview of sustainability practices at the maquiladora industry in mexico. *Manag. Environ. Qual. Int. J.* **2006**, *17*, 478–489. [[CrossRef](#)]
33. Vega, N.E.M.; Borboa, V.S.F.; Quintana, D.S.Z.; Contreras, L.E.V. Assessing the effectiveness of integrating ergonomics and sustainability: A case study of a Mexican maquiladora. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* **2018**, *25*, 587–596. [[CrossRef](#)]

34. Hadjimarcou, J.; Brouthers, L.E.; McNicol, J.P.; Michie, D.E. Maquiladoras in the 21st century: Six strategies for success. *Bus. Horiz.* **2013**, *56*, 207–217. [[CrossRef](#)]
35. Cruthirds, K.W.; Coyle, T.; Velasco, M.P.T.; Marquez, B.G. World class logistics—South of the border: An analysis of Mexican maquiladora environmentally responsible practices. *Int. J. Product. Qual. Manag.* **2015**, *15*, 285–308. [[CrossRef](#)]
36. Chetthamrongchai, P.; Jermsittiparsert, K. Impact of lean manufacturing practices on financial performance of pharmaceutical sector in Thailand. *Syst. Rev. Pharm.* **2019**, *10*, 208–217.
37. Fullerton, R.R.; Wempe, W.F. Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* **2009**, *29*, 214–240. [[CrossRef](#)]
38. Avelar-Sosa, L.; García-Alcaraz, J.L.; Vergara-Villegas, O.O.; Maldonado-Macías, A.A.; Alor-Hernández, G. Impact of traditional and international logistic policies in supply chain performance. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2014**, *76*, 913–925. [[CrossRef](#)]
39. Brito, M.; Gonçalves, M.A. Ergosmed: A methodology to reduce setup times and improve ergonomic conditions. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*; Springer: Cham, Germany, 2020; Volume 1026, pp. 549–554.
40. Rodríguez-Méndez, R.; Sánchez-Partida, D.; Martínez-Flores, J.L.; Arvizu-Barrón, E. A case study: Smed & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into ac disconnect assembly line in schneider electric Tlaxcala plant. *IFAC Pap.* **2015**, *48*, 1399–1404.
41. Singh, A.; Ahuja, I.S. Review of 5s methodology and its contributions towards manufacturing performance. *Int. J. Process. Manag. Benchmarking* **2015**, *5*, 408–424. [[CrossRef](#)]
42. Ribeiro, I.M.; Godina, R.; Pimentel, C.; Silva, F.J.G.; Matias, J.C.O. Implementing TPM supported by 5s to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manuf.* **2019**, *38*, 1574–1581. [[CrossRef](#)]
43. Veres, C.; Marian, L.; Moica, S.; Al-Akel, K. Case study concerning 5s method impact in an automotive company. *Procedia Manuf.* **2018**, *22*, 900–905. [[CrossRef](#)]
44. Jiménez, M.; Romero, L.; Fernández, J.; Espinosa, M.M.; Domínguez, M. Extension of the lean 5s methodology to 6s with an additional layer to ensure occupational safety and health levels. *Sustainability* **2019**, *11*, 3827. [[CrossRef](#)]
45. Misiurek, K.; Misiurek, B. Improvement of the safety and quality of a workplace in the area of the construction industry with use of the 6s system. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* **2020**, *26*, 514–520. [[CrossRef](#)]
46. Gnanaguru, R.; Thirumurugan, R.; Rajendran, I. Investigation of green manufacturing in motor and pump industries through a system model ‘green-6s’. In *Proceedings of the 1st International Conference on Materials, Design and Manufacturing for Sustainable Environment, ICMDMSE 2020*; Mohan, S., Shankar, S., Rajeshkumar, G., Eds.; Springer Science and Business Media Deutschland GmbH: Berlin, Germany, 2021; pp. 775–795. [[CrossRef](#)]
47. Sukdeo, N.; Ramdass, K.; Petja, G. Application of 7s methodology: A systematic approach in a bucket manufacturing organisation. *South. Afr. J. Ind. Eng.* **2020**, *31*, 178–193.
48. Mahlaha, K.; Sukdeo, N.; Mofokeng, V. A Lean 7s Methodology Framework to Improve Efficiency and Organizational Performance: A Review Study in an SME Organization. In *Proceedings of the 10th Annual International IEOM Conference, IEOM 2020, Dubai, United Arab Emirates, 10–12 March 2020*; IEOM Society: Dubai, United Arab Emirates, 2020; pp. 962–970. Available online: <http://www.ieomsociety.org/ieom2020/papers/34.pdf> (accessed on 26 August 2021).
49. Díaz-Reza, J.R.; García-Alcaraz, J.L.; Mendoza-Fong, J.R.; Martínez-Loya, V.; Macías, E.J.; Blanco-Fernández, J. Interrelations among SMED stages: A causal model. *Complexity* **2017**, *2017*, 1–10. [[CrossRef](#)]
50. Brito, M.; Ramos, A.L.; Carneiro, P.; Gonçalves, M.A. Combining SMED methodology and ergonomics for reduction of setup in a turning production area. *Procedia Manuf.* **2017**, *13*, 1112–1119. [[CrossRef](#)]
51. Bandyopadhyay, P.K.; Naik, S.; Ganguly, K. Reduction of setup time through SMED approach: A case study in the pharmaceutical industry. *Int. J. Appl. Manag. Sci. Eng.* **2015**, *2*, 20. [[CrossRef](#)]
52. Moreira, A.C.; Garcez, P.M.T. Implementation of the single minute exchange of die (SMED) methodology in small to medium-sized enterprises: A Portuguese case study. *Int. J. Manag.* **2013**, *30*, 66–87.
53. Piñeiro, D.P.; Nikolakopoulou, A.; Jäschke, J.; Braatz, R.D. Self-optimizing control of a continuous-flow pharmaceutical manufacturing plant. *IFAC-Pap.* **2020**, *53*, 11601–11606.
54. Bezerra, M.A.; Lemos, V.A.; de Oliveira, D.M.; Novaes, C.G.; Barreto, J.A.; Alves, J.P.S.; Cerqueira, U.M.F.d.M.; Santos, Q.O.d.; Araújo, S.A. Automation of continuous flow analysis systems—A review. *Microchem. J.* **2020**, *155*, 104731. [[CrossRef](#)]
55. Sinha, S.K.; Majumdar, A. Economic sustainability benchmarking of environmental initiatives: A case of wastewater treatment plant. *Benchmarking Int. J.* **2021**, *28*, 2008–2022.
56. Jiang, Z.; Lyu, P.; Ye, L.; Zhou, Y.w. Green innovation transformation, economic sustainability and energy consumption during China’s new normal stage. *J. Clean. Prod.* **2020**, *273*, 123044. [[CrossRef](#)]
57. Hami, N.; Muhamad, M.R.; Ebrahim, Z. The impact of sustainable manufacturing practices and innovation performance on economic sustainability. *Procedia CIRP* **2015**, *26*, 190–195. [[CrossRef](#)]
58. Zhang, X.; Ao, X.; Cai, W.; Jiang, Z.; Zhang, H. A sustainability evaluation method integrating the energy, economic and environment in remanufacturing systems. *J. Clean. Prod.* **2019**, *239*, 118100. [[CrossRef](#)]
59. Taucean, I.M.; Miclea, S.; Ivascu, L.; Negrut, M.L. Analysis of interrelationship for lean and sustainability principles and implications. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*; Springer: Cham, Germany, 2021; Volume 1221, pp. 217–227.
60. Sharma, K.M.; Lata, S. Effectuation of lean tool “5s” on materials and work space efficiency in a copper wire drawing micro-scale industry in India. *Mater. Today Proc.* **2018**, *5*, 4678–4683. [[CrossRef](#)]

61. Singh, R.J.; Singh, A. 5s—A quality improvement tool for sustainable performance: Literature review and directions. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* **2017**, *34*, 334–361.
62. Vitayasak, S.; Pongcharoen, P.; Hicks, C. Robust machine layout design under dynamic environment: Dynamic customer demand and machine maintenance. *Expert Syst. Appl.* **2019**, *3*, 100015.
63. Morales García, A.S.; García-Alcaraz, J.L.; Martínez Hernández, F.A.; Díaz Reza, J.R. Validation of questionnaire to know the level of lean manufacturing implementation [In Spanish]. *Mem. Congr. Int. Investig. Acad. J.* **2020**. Available online: <https://shorturl.at/xBDVZ> (accessed on 29 August 2021).
64. Gagnon, J.; Raskin, M.; Remache, J.; Sack, B. The financial market effects of the federal reserve’s large-scale asset purchases. *24th Issue Int. J. Cent. Bank.* **2018**, *7*, 45–52.
65. Morales García, A.; García Alcaraz, J.; Díaz Reza, J. Survey: Effect of Lean Manufacturing Tools on the Company’s Environmental Performance, Ciudad Juárez, Mexico. 2021. Available online: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14462163.v1> (accessed on 30 August 2021).
66. Amelec, V. Improvements in the supply chain of an automotive company through the implementation of continuous flow. *Adv. Sci. Lett.* **2015**, *21*, 1416–1418. [[CrossRef](#)]
67. Girón, A.; Kazemikhasragh, A.; Cicchiello, A.F.; Panetti, E. Sustainability reporting and firms’ economic performance: Evidence from Asia and Africa. *J. Knowl. Econ.* **2020**, 1–19. [[CrossRef](#)]
68. García-Alcaraz, J.L.; Montalvo, F.J.F.; Avelar-Sosa, L.; Pérez de la Parte, M.M.; Blanco-Fernández, J.; Jiménez-Macías, E. The importance of access to information and knowledge coordination on quality and economic benefits obtained from six sigma. *Wirel. Netw.* **2020**, *26*, 5713–5726. [[CrossRef](#)]
69. IMMEX. *Monthly Statistics Report—General Information about Maquiladoras—May 14, 2021*; IMMEX: Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, 2021; p. 4.
70. IMMEX. *Weekly Statistics Rreport—General Information about Workforce in Maquiladoras—May 7, 2021*; IMMEX: Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, 2021; p. 4.
71. Kock, N. *Warpls User Manual: Version 6.0*; ScriptWarp Systems: Laredo, TX, USA, 2017.
72. Hair, J.; Hult, G.; Ringle, C.; Sarstedt, M. *A Primer on Partial least Square Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*, 2nd ed.; Sage: Thousand Oaks, CA, USA, 2017; Volume 2.
73. Kock, N. Common method bias in pls-sem: A full collinearity assessment approach. *Int. J. e-Collab.* **2015**, *11*, 1–10. [[CrossRef](#)]
74. Iacobucci, D.; Posavac, S.S.; Kardes, F.R.; Schneider, M.J.; Popovich, D.L. Toward a more nuanced understanding of the statistical properties of a median split. *J. Consum. Psychol.* **2015**, *25*, 652–665. [[CrossRef](#)]
75. Teo, T.; Tsai, L.T.; Yang, C.-C. Applying structural equation modeling (SEM) in educational research. In *Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice*; Khine, M.S., Ed.; Sense Publishers: Rotterdam, The Netherlands, 2013; pp. 3–21.
76. Westland, J.C. Partial least squares path analysis. In *Structural Equation Models: From Paths to Networks*; Westland, J.C., Ed.; Springer International Publishing: Cham, Germany, 2019; pp. 17–38.
77. Hernández, F.A.M.; Alcaraz, J.L.A. Survey to Determine the Level of Implementation of Lean Manufacturing Practices. *figshare* **2021**. Available online: https://figshare.com/articles/dataset/_/14301275 (accessed on 30 August 2021).

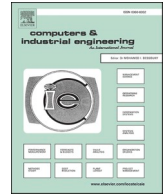
Debido a que este cuarto artículo no ha sido publicado en la modalidad de Open Access, solamente se reporta una imagen de la primera página de este. Lectores interesados pueden acceder a una versión completa a través de la siguiente referencia:

García-Alcaraz, J. L., Díaz-Reza, J. R., Flor Montalvo, F. J., Jiménez-Macías, E., Blanco-Fernández, J., & Javierre Lardies, C. F. (2021). Effects of information sharing, decision synchronization and goal congruence on SC performance. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107744. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107744>.



Contents lists available at ScienceDirect

Computers & Industrial Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/caie

Effects of information sharing, decision synchronization and goal congruence on SC performance

Jorge Luis García-Alcaraz^{a,b,*}, José Roberto Díaz-Reza^b, Francisco Javier Flor Montalvo^c, Emilio Jiménez-Macías^d, Julio Blanco-Fernández^e, Carlos Francisco Javierre Lardies^f

^a Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Autonomous University of Ciudad Juárez, Av. del Charro 450 Norte, Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico

^b Division of Research and Postgraduate Studies, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Av. Tecnológico No. 1340 Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez 32500, Chihuahua, Mexico

^c Higher School of Engineering and Technology, International University of La Rioja (UNIR), Avda. de la Paz, 137, Logroño, La Rioja, Spain

^d Department of Electrical Engineering, University of La Rioja, Luis de Ulloa 20, 26004 Logroño, La Rioja, Spain

^e Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, Luis de Ulloa 20, Logroño 26004, La Rioja, Spain

^f Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza. Edif. Agustín de Betancourt, María de Luna, s/n, 50018, Zaragoza, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Supply chain management
SC financial performance
Information sharing
Goal congruence

ABSTRACT

Nowadays, supply chain performance is measured since it is essential in globalized companies as maquiladoras. They import all raw material and import and export all final products, with high information, material, and money flow, having complex networks. This article reports findings from a structural equation model integrating four latent variables: Decision synchronization, Goal congruence, and Information sharing as independent variables, and Supply chain performance as the dependent variable related through six hypotheses to know their relationship. Hypotheses were tested using information from 143 responses to a questionnaire applied to the maquiladora industry in northern Mexico. The structural equation model is evaluated using the partial least squares (PLS) method integrated into WarpPLS 6.0 software. Findings indicate that five hypotheses are statistically significant, and it is concluded that Goal congruence, Information sharing, and Decision synchronization directly affect supply chain performance. The most critical variable to guarantee it is Goal congruence among partners.

* Corresponding author at: Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Autonomous University of Ciudad Juarez, Av. del Charro 450 Norte, Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico.

E-mail addresses: jorge.garcia@uacj.mx, jorge.ga01@itcj.edu.mx (J.L. García-Alcaraz), jose.dr01@itcj.edu.mx (J.R. Díaz-Reza), franciscojavier.flor@unir.net (F.J. Flor Montalvo), emilio.jimenez@unirioja.es (E. Jiménez-Macías), julio.blanco@unirioja.es (J. Blanco-Fernández), sabijcl@unizar.es (C.F. Javierre Lardies).

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107744>

Received 27 February 2020; Received in revised form 23 June 2021; Accepted 10 October 2021

Available online 19 October 2021

0360-8352/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

SPRINGER NATURE LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Jan 27, 2022

This Agreement between Autonomous University of Ciudad Juárez -- Jorge García-Alcaraz ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number 5237131067573

License date Jan 27, 2022

Licensed Content
Publisher Springer Nature

Licensed Content
Publication Wireless Networks

Licensed Content Title The importance of access to information and knowledge
coordination on quality and economic benefits obtained from Six
Sigma

Licensed Content
Author Jorge Luis García-Alcaraz et al

Licensed Content Date Nov 4, 2019

Type of Use Thesis/Dissertation

Requestor type academic/university or research institute

Format electronic

Portion full article/chapter

Will you be translating? no

Circulation/distribution 10000 - 19999

Author of this Springer Nature content yes

Title Professor

Institution name Autonomous University of Ciudad Juarez

Expected presentation date Mar 2022

Requestor Location
Autonomous University of Ciudad Juárez
450 N. Ave del Charoo
Col. Partido Romero
Ciudad Juarez, Chihuahua 32310
Mexico
Attn: Autonomous University of Ciudad Juárez

Customer VAT ID MXGAAJ710526mb7

Total 0.00 USD

Terms and Conditions

Springer Nature Customer Service Centre GmbH Terms and Conditions

This agreement sets out the terms and conditions of the licence (the **Licence**) between you and **Springer Nature Customer Service Centre GmbH** (the **Licensor**). By clicking 'accept' and completing the transaction for the material (**Licensed Material**), you also confirm your acceptance of these terms and conditions.

1. Grant of License

1.1. The Licensor grants you a personal, non-exclusive, non-transferable, world-wide licence to reproduce the Licensed Material for the purpose specified in your order only. Licences are granted for the specific use requested in the order and for no other use, subject to the conditions below.

1. 2. The Licensor warrants that it has, to the best of its knowledge, the rights to license reuse of the Licensed Material. However, you should ensure that the material you are requesting is original to the Licensor and does not carry the copyright of another entity (as credited in the published version).

1. 3. If the credit line on any part of the material you have requested indicates that it was reprinted or adapted with permission from another source, then you should also seek permission from that source to reuse the material.

2. Scope of Licence

2. 1. You may only use the Licensed Content in the manner and to the extent permitted by these Ts&Cs and any applicable laws.

2. 2. A separate licence may be required for any additional use of the Licensed Material, e.g. where a licence has been purchased for print only use, separate permission must be obtained for electronic re-use. Similarly, a licence is only valid in the language selected and does not apply for editions in other languages unless additional translation rights have been granted separately in the licence. Any content owned by third parties are expressly excluded from the licence.

2. 3. Similarly, rights for additional components such as custom editions and derivatives require additional permission and may be subject to an additional fee.

Please apply to

Journalpermissions@springernature.com/bookpermissions@springernature.com for these rights.

2. 4. Where permission has been granted **free of charge** for material in print, permission may also be granted for any electronic version of that work, provided that the material is incidental to your work as a whole and that the electronic version is essentially equivalent to, or substitutes for, the print version.

2. 5. An alternative scope of licence may apply to signatories of the [STM Permissions Guidelines](#), as amended from time to time.

3. Duration of Licence

3. 1. A licence for is valid from the date of purchase ('Licence Date') at the end of the relevant period in the below table:

Scope of Licence	Duration of Licence
Post on a website	12 months
Presentations	12 months
Books and journals	Lifetime of the edition in the language purchased

4. Acknowledgement

4. 1. The Licensor's permission must be acknowledged next to the Licenced Material in print. In electronic form, this acknowledgement must be visible at the same time as the figures/tables/illustrations or abstract, and must be hyperlinked to the journal/book's

homepage. Our required acknowledgement format is in the Appendix below.

5. Restrictions on use

5. 1. Use of the Licensed Material may be permitted for incidental promotional use and minor editing privileges e.g. minor adaptations of single figures, changes of format, colour and/or style where the adaptation is credited as set out in Appendix 1 below. Any other changes including but not limited to, cropping, adapting, omitting material that affect the meaning, intention or moral rights of the author are strictly prohibited.

5. 2. You must not use any Licensed Material as part of any design or trademark.

5. 3. Licensed Material may be used in Open Access Publications (OAP) before publication by Springer Nature, but any Licensed Material must be removed from OAP sites prior to final publication.

6. Ownership of Rights

6. 1. Licensed Material remains the property of either Licensor or the relevant third party and any rights not explicitly granted herein are expressly reserved.

7. Warranty

IN NO EVENT SHALL LICENSOR BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL OR INDIRECT DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.

8. Limitations

8. 1. BOOKS ONLY: Where 'reuse in a dissertation/thesis' has been selected the following terms apply: Print rights of the final author's accepted manuscript (for clarity, NOT the published version) for up to 100 copies, electronic rights for use only on a personal website or institutional repository as defined by the Sherpa guideline (www.sherpa.ac.uk/romeo/).

8. 2. For content reuse requests that qualify for permission under the [STM Permissions Guidelines](#), which may be updated from time to time, the STM Permissions Guidelines

supersede the terms and conditions contained in this licence.

9. Termination and Cancellation

9. 1. Licences will expire after the period shown in Clause 3 (above).

9. 2. Licensee reserves the right to terminate the Licence in the event that payment is not received in full or if there has been a breach of this agreement by you.

Appendix 1 — Acknowledgements:

For Journal Content:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)

For Adaptations/Translations:

Adapted/Translated by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)

Note: For any republication from the British Journal of Cancer, the following credit line style applies:

Reprinted/adapted/translated by permission from [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: : [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)

For Advance Online Publication papers:

Reprinted by permission from The [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM])

For Book content:

Reprinted/adapted by permission from [the Licensor]: [Book Publisher (e.g. Palgrave Macmillan, Springer etc)] [Book Title] by [Book author(s)] [COPYRIGHT] (year of publication)

Other Conditions:

Version 1.3

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.



Effects of information sharing, decision synchronization and goal congruence on SC performance



Author:

Jorge Luis García-Alcaraz, José Roberto Díaz-Reza, Francisco Javier Flor Montalvo, Emilio Jiménez-Macías, Julio Blanco-Fernández, Carlos Francisco Javierre Lardies

Publication: Computers & Industrial Engineering

Publisher: Elsevier

Date: December 2021

© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Journal Author Rights

Please note that, as the author of this Elsevier article, you retain the right to include it in a thesis or dissertation, provided it is not published commercially. Permission is not required, but please ensure that you reference the journal as the original source. For more information on this and on your other retained rights, please visit: <https://www.elsevier.com/about/our-business/policies/copyright#Author-rights>

BACK

CLOSE WINDOW