



Universitat de Lleida

La manufactura esbelta como precursor de la sustentabilidad en maquiladoras mexicanas

Jorge Luis García Alcaraz

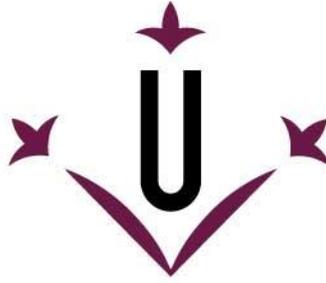
<http://hdl.handle.net/10803/689329>



La manufactura esbelta como precursor de la sustentabilidad en maquiladoras mexicanas està subjecte a una llicència de [Reconeixement 4.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Les publicacions incloses en la tesi no estan subjectes a aquesta llicència i es mantenen sota les condicions originals.

(c) 2023, Jorge Luis García Alcaraz



Universitat de Lleida

TESI DOCTORAL

**La manufactura esbelta como precursor de la
sustentabilidad en maquiladoras mexicanas**

Jorge Luis García Alcaraz

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de
Lleida
Programa de Doctorado en Ingeniería y Tecnologías de la Información

Directores
Dra. Rita Puig i Vidal
Dr. Emilio Jiménez Macías

Tutora
Dra. Rita Puig i Vidal

Lleida, Cataluña, España
Julio 12, 2023

SECCIÓN I. GENERALIDADES

SOBRE LA TESIS

La memoria de esta tesis se presenta en la modalidad de compendio de artículos publicados en revistas científicas internacionales con revisión por pares e indexadas en el Journal Citations Reports (JCR). Una breve referencia de los artículos publicados se indica a continuación:

Publicación 1. García-Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz-Reza JR, Jiménez Macías E, Javierre Lardies C, Blanco Fernández J (2022) Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (26):39622-39637. doi:10.1007/s11356-022-18978-6. Factor de impacto 5.190, Categoría ENVIRONMENTAL SCIENCES – SCIE Q2, 87/279).

Publicación 2. García-Alcaraz JL, Reza RD, Macías EJ, Puig-Vidal R, Montalvo FJF, Ledesma AST (2022) Effect of the Sustainable Supply Chain on Business Performance—The Maquiladora Experience. *IEEE Access* 10:40829-40842. doi:10.1109/ACCESS.2022.3166193 (factor de impacto 3.476, categorías TELECOMMUNICATIONS – SCIE Q2 79/164, COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS – SCIE Q2 105/276, ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC – SCIE Q2 43/93).

Publicación 3. García Alcaraz JL, Díaz Reza JR, Arredondo Soto KC, Hernández Escobedo G, Happonen A, Puig I Vidal R, Jiménez Macías E (2022a) Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies. *Mathematics* 10 (11). doi:10.3390/math10111877 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333)

Publicación 4. García Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz Reza JR, Blanco Fernández J, Jiménez Macías E, Puig i Vidal R (2022b) Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience. *Mathematics* 10 (9):1468. doi:10.3390/math10091468 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333)

Publicación 5. Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Figueroa LJM, Puig-Vidal R, Muro JCSD (2022) Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 123 (3-4):1269-1284. doi:10.1007/s00170-022-10208-0 (Factor de impacto 3.563, categorías ENGINEERING, MANUFACTURING – SCIE Q2, 28/65, AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS – SCIE Q2, 25/51).

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE TESIS A PRESENTAR LA TESIS DOCTORAL “LA MANUFACTURA ESBELTA COMO PRECURSOR DE LA SUSTENTABILIDAD EN MAQUILADORAS MEXICANAS” EN MODALIDAD DE "COMPENDIO DE PUBLICACIONES:

Vo. Bo. Directores de tesis

Rita Puig Vidal
- DNI
46580092D
(TCAT)

Firmado digitalmente
por Rita Puig Vidal -
DNI 46580092D
(TCAT)
Fecha: 2023.06.14
08:41:58 +02'00'

Fda.: Rita Puig i Vidal

JIMENEZ
MACIAS
EMILIO - DN
16565868A

Firmado digitalmente por JIMENEZ
MACIAS EMILIO - DNI 16565868A
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES, o=UNIVERSIDAD DE LA RIOJA,
ou=CERTIFICADO ELECTRONICO DE
EMPLEADO PUBLICO,
ou=INGENIERIA ELECTRICA,
serialNumber=DCEES16565868A,
sn=JIMENEZ MACIAS,
givenName=EMILIO, cn=JIMENEZ
MACIAS EMILIO - DNI 16565868A
Fecha: 2023.06.22 14:17:45 +02'00'

Fdo.: Emilio Jiménez Macías

DEDICATORIA

Como ser humano siempre me ha inspirado lograr los objetivos establecidos y siempre hay un porqué de éstos. En este caso, mi inspiración se encuentra en mi familia, por lo que quiero dedicar este trabajo a las siguientes personas:

- A mi hijo *Jorge Andrés García-Rodríguez*, un verdadero ángel que ha iluminado mi vida y que aun con su AUTISMO, me ha enseñado a ser un padre y permitirme ver en sus ojos la inocencia que se ha convertido en mi razón de vivir. Este doctorado es para ti, es una pena que no pueda llevar tu nombre porque así debería serlo. Alguien una vez dijo que tu no llegarías a ningún lado, eso me dolió mucho, pero juntos hicimos esos pasos que tu debías hacer solo y lo mejor de todo es que lo seguiremos haciendo.
- A mi hija *Mariana Odette García-Rodríguez*, quien a sus 16 años pasó parte de sus vacaciones de verano trabajando conmigo en los artículos publicados para alcanzar este grado. Gracias hija por enseñarme que el amor es infinito.
- A mi esposa *Ana Blanca Rodríguez-Rendón*, por su apoyo en mis proyectos.
- A mis padres, *Andrés García Hernández* y *Ramona Alcaraz Peñaloza*, verdaderos guías y maestros de mi vida. Descansa en paz hermosa madre mía, tus enseñanzas y recuerdos estarán siempre conmigo y esa es la razón por la que para mi es imposible que mueras.... Yo aun te recuerdo.
- A mis hermanos y hermanas sanguíneos Francisco, Pedro, Nubia, Nely y Andrés, ya que los verdaderos aprendizajes y valores los obtuve con ellos en casa, que son los que nos han formado como personas.
- A mis hermanos fraternales en logia, que cuando he requerido y requiero de su apoyo, siempre acuden a mi llamado.
- A todos aquellos integrantes de la familia y amigos, que siempre han formado parte de 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:

- Al Gran Arquitecto del Universo, por todo.
- A mis padres y hermanos, 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, Dra. Rita Puig i Vidal de la Universidad de Lleida 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, la institución que me ha permitido desarrollarme profesionalmente.
- A los Golfos, ellos saben quiénes son.
- A mis alumnos en todos los niveles educativos, quienes han confiado en mí su formación académica.

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

JUSTIFICACIÓN Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de que diferentes instituciones educativas investigaran de manera conjunta el mismo problema y evitar duplicar esfuerzos, en el año 2014 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) emitió una convocatoria de redes temáticas. En ese año y en el marco de dicha convocatoria, se obtuvo financiamiento para la integración de la Red Temática de Optimización de Procesos Industriales, la cual se integraba por investigadores de diferentes instituciones y países. Esta red tenía el objetivo de analizar los procesos productivos que se estaban desarrollando en la industria maquiladora mexicana con la finalidad de optimizar los recursos que en ellas se tenían.

Los resultados de esta red se vieron cuantificados en artículos publicados de manera conjunta y colaborativa entre sus integrantes, así como el establecimiento de fuertes lazos formales e informales entre los investigadores. Entre las instituciones participantes se encontraban la Universidad de La Rioja, Universidad de Zaragoza, Universidad Carlos III de Madrid, todas ellas de España; así como instituciones de Chile, Colombia y Perú en América Latina, por mencionar solamente algunas.

Como líder de esa red temática me ha tocado formar lazos personales con varios investigadores, con quienes hasta la fecha se continúa y continuará colaborando. Los productos de esas investigaciones y trabajos colaborativos pueden ser vistos a través de los perfiles que tenemos ante Scopus y las patentes registradas ante la Oficina de Patentes y Marcas de España.

Los artículos científicos que se han publicado como parte de la colaboración con colegas de universidades españolas atiende a una problemática local de la industria maquiladora mexicana en la que se encuentra establecida la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, institución a la cual me encuentro adscrito como profesor de tiempo completo. Esa industria regional es de gran importancia, dado que genera aproximadamente 336,000 empleos directos en la región, lo que representa el 62% del total formalmente establecidos.

Los tópicos investigados atienden básicamente a tres conceptos, el primero es la administración de la cadena de suministro, el segundo es la aplicación de herramientas de manufactura esbelta a los procesos de producción y finalmente, el tercero se refiere a la sustentabilidad que puede obtenerse de la aplicación de las buenas prácticas anteriores.

Los artículos que se presentan en esta tesis para obtener el grado de doctor en Ingeniería y Tecnologías de la Información por la Universidad de Lleida atienden esos tópicos y son una continuación de esa colaboración que ha nacido desde el año de 2014. En esta tesis se reportan cinco artículos publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports (JCR) y en todos ellos se presentan modelos de ecuaciones estructurales en los que se analiza el impacto de las cadenas de suministro y de la aplicación de herramientas de manufactura esbelta en la sustentabilidad de las empresas, ya sea económica, social o ambiental.

En los cinco artículos aquí reportados se hace especial énfasis en herramientas asociadas al flujo de materiales a lo largo del sistema productivo y a las máquinas y herramientas que son usados en los mismos. El objetivo general de todos los artículos es cuantificar la relación entre variables, asumiendo la temporalidad de ocurrencia de éstas. De manera general, en todos los modelos se asume que la implementación de herramientas de manufactura esbelta y las buenas prácticas aplicadas en la cadena de suministro fomentan la sustentabilidad y los modelos permiten comprobar las relaciones de manera estadística. La relación entre las variables se propone como una hipótesis que debe probarse, por lo que siempre se obtiene información de la industria maquiladora regional, lo que da suficiente evidencia empírica a las conclusiones obtenidas.

La cuantificación de esas relaciones entre las variables latentes asociadas a la manufactura esbelta o cadena de suministro con la sustentabilidad permitirá a los gerentes y responsables del proceso de toma de decisiones, optimizar y fomentar de manera adecuada los recursos disponibles para la obtención de las metas y objetivos que tenga la empresa. Ningún modelo es específico de una empresa en particular, sino que proviene de un conglomerado de sectores y las conclusiones son genéricas y no particulares.

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN I. GENERALIDADES.....	iii
SOBRE LA TESIS.....	v
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	xi
JUSTIFICACIÓN Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	xiii
TABLA DE CONTENIDO.....	xv
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
LISTA DE TABLAS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
RESUM	xxiii
SECCIÓN II: INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 La manufactura y sus orígenes.....	3
1.1.1 La manufactura esbelta o lean manufacturing.....	4
1.1.2 Los beneficios de manufactura esbelta	6
1.2 La sustentabilidad	8
1.2.1 Los beneficios de la sustentabilidad	9
1.3 El binomio manufactura esbelta y sustentabilidad – Una revisión.....	11
1.3.1 Los principales autores y documentos de Lean Manufacturing – Sustentabilidad	12
1.4 La industria maquiladora mexicana	13
1.4.1 La toma de decisiones en la industria maquiladora	15
1.5 Manufactura esbelta y sustentabilidad – sus aplicaciones.....	16
1.6 El problema de investigación	17
1.6.1 Objetivo de investigación	18
1.7 Hipótesis de investigación.....	18
1.8 Limitaciones.....	18
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1 Elaboración de los cuestionarios.....	20
2.1.1 Cuestionario de manufactura esbelta y sustentabilidad	20

2.1.2 Cuestionario cadena de suministro sustentable	22
2.1.3 Cuestionario de prácticas verdes en la cadena de suministro	23
2.1.4 La validación por jueces de los cuestionarios.....	23
2.1.5 La escala	24
2.2 Aplicación del cuestionario	24
2.3 Obtención de la información y depuración.....	25
2.4 Análisis descriptivo de la muestra y los ítems.....	25
2.5 Validación de las variables latentes	26
2.6 Modelo de ecuaciones estructurales (MEE)	26
2.6.1 Ejemplo de modelo	27
Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	27
Cambios Rápidos (QS).....	27
Overall equipment effectiveness (OEE).....	28
Flujo de una sola pieza (OPF).....	28
Sustentabilidad económica (ECS)	28
2.6.2 Formulación de hipótesis.....	28
2.6.3 Validación del modelo	31
2.6.4 Efectos directos.....	32
2.6.5 Efectos indirectos.....	32
2.6.6 Efectos totales.....	32
2.6.7 Los tamaños de los efectos.....	33
2.6.8 Análisis de sensibilidad	33
SECCION III. RESULTADOS.....	33
3. DESCRIPCION DE ARTÍCULOS PUBLICADOS	35
3.1 Artículo 1. Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras.....	35
3.1.1 Las variables en el modelo – Artículo 1	35
3.1.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 1.....	36
3.1.3 Los efectos directos, indirectos y totales – Artículo 1.....	38
3.1.4 Conclusiones – Artículo 1.....	40
3.2 Artículo 2. Effect of the Sustainable Supply Chain on Business Performance— The Maquiladora Experience	41
3.2.1 Las variables en el modelo – Artículo 2	41

3.2.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 2.....	42
3.2.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales - artículo 2.....	44
3.2.4 Conclusiones – Artículo 2.....	46
3.3 Artículo 3. Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience	46
3.3.1 Las variables en el modelo – Artículo 3	47
3.3.2 Modelo propuesto y evaluado – Artículo 3	47
3.3.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 3.....	48
3.3.4 Conclusiones – Artículo 3.....	51
3.4 Artículo 4. Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies	52
3.4.1 Las variables en el modelo – Artículo 4	52
3.4.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 4.....	53
3.4.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 4.....	53
3.4.4 Conclusiones – Artículo 4.....	57
3.5 Artículo 5. Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits.....	57
3.5.1 Las variables en el modelo - Artículo 5	58
3.5.2 El modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 5	58
3.5.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 5.....	59
3.5.4 Conclusiones – Artículo 5.....	61
4. CONCLUSION GENERAL.....	63
REFERENCIAS	65
SECCIÓN IV. ANEXOS – ARTÍCULOS PUBLICADOS	77
ANEXO 1.....	79
ANEXO 2.....	97
ANEXO 3.....	113
ANEXO 4.....	133
ANEXO 5.....	155
APÉNDICE A	173
APÉNDICE B.....	185
APÉNDICE C.....	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Tendencias en documentos de LM.....	5
Figura 1.2 La casa de la calidad	5
Figura 1.3 Beneficios de LM	7
Figura 1.4 Línea del tiempo (Sustentabilidad)	9
Figura 1.5 Línea del tiempo (Lean Manufacturing-Sustainability)	12
Figura 1.6 Hipótesis propuesta y su entorno	19
Figura 2.1 Ejemplo del modelo propuesto - Artículo 5	31
Figura 2.2 Modelo evaluado – Artículo 5	33
Figura 3.1 Factor de impacto de Environmental Science and Pollution Research	36
Figura 3.2 Modelo propuesto -Artículo 1.....	37
Figura 3.3 Modelo evaluado – Artículo 1	37
Figura 3.4 Factor de impacto de IEEE Access	42
Figura 3.5 Modelo propuesto - Artículo 2.....	43
Figura 3.6 Modelo evaluado - Artículo 2.....	43
Figura 3.7 Factor de impacto de Mathematics	47
Figura 3.8 Modelo propuesto – Artículo 3	48
Figura 3.9 Modelo evaluado – Artículo 3	49
Figura 3.10 Modelos propuestos – Artículo 4. a. Modelo general b. Modelo de segundo orden con dos relaciones c. Modelo de segundo orden con tres relaciones	54
Figura 3.11 Modelos evaluados – Artículo 4. a. Modelo general b. Modelo de segundo orden con dos relaciones c. Modelo de segundo orden con tres relaciones	55
Figura 3.12 Factor de impacto del International Journal of Advanced Manufacturing Technology	58
Figura 3.13 Modelo propuesto – Artículo 5	59
Figura 3.14 Modelo evaluado – Artículo 5	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Documentos más importante de LM-Sustainability.....	13
Tabla 3.1 Efectos directos - Artículo 1.....	38
Tabla 3.2 Suma de efectos indirectos y totales - Artículo 1.....	39
Tabla 3.3 Análisis de sensibilidad - Artículo 1	39
Tabla 3.4 Efectos directos - Artículo 2.....	44
Tabla 3.5 Suma de efectos indirectos y totales - Artículo 2.....	45
Tabla 3.6 Análisis de sensibilidad - Artículo 2	45
Tabla 3.7 Efectos directos – Artículo 3.....	49
Tabla 3.8 Suma de efectos indirectos y totales – Artículo 3.....	50
Tabla 3.9 Análisis de sensibilidad – Artículo 3	51
Tabla 3.10 Comparación de los índices en el modelo.....	55
Tabla 3.11 Análisis de sensibilidad – Artículo 4	56
Tabla 3.12 Efectos directos -Artículo 5	60
Tabla 3.13 Suma de efectos indirectos y totales – Artículo 5.....	60
Tabla 3.14 Análisis de sensibilidad – Artículo 5	61

RESUMEN

La Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicio de Exportación (IMMEX) tiene actualmente 5,160 empresas a nivel nacional en México, de las cuales 486 están establecidas en el estado de Chihuahua y de manera específico, 322 están en Ciudad Juárez, donde solamente en esa región genera 336,901 empleos y de ahí la importancia de su estudio. En este sector industrial se aplican varias metodologías para optimizar sus procesos de producción y cadena de suministro, las cuales sin duda tienen un impacto en la sustentabilidad social, ambiental y económica. En esta tesis se reportan cinco artículos en los que se presentan modelos de ecuaciones estructurales para relacionar las buenas prácticas aplicadas a la cadena de suministro y las herramientas de manufactura esbelta con la sustentabilidad en sus tres dimensiones. Dichas relaciones entre variables se establecen como hipótesis que son validadas con información obtenida a través de cuestionarios aplicados a la industria maquiladora regional y aplicando la técnica de mínimos cuadrados parciales. Los resultados indican que herramientas como el mantenimiento productivo total facilitan los cambios rápidos en las líneas de producción, facilitando la producción de artículos más personalizados y de manera rápida; además, ayuda y fomenta la sustentabilidad social, económica y ambiental, al evitar que se generen errores y productos de mala calidad. De la misma manera, los resultados indican que, en la IMMEX, dada su naturaleza como empresa filial, la integración de los clientes y los consumidores no es relevante, ya que frecuentemente la empresa matriz juega ese mismo rol.

Palabras clave: modelos de ecuaciones estructurales, manufactura esbelta, cadena de suministro, sustentabilidad, Ciudad Juárez.

ABSTRACT

The Manufacturing, Maquiladora and Export Service Industry (IMMEX) currently has 5160 companies nationwide in Mexico, of which 486 are established in the state of Chihuahua and specifically, 322 are in Ciudad Juarez, where only in that region generates 336,901 jobs and hence the importance of its study. In this industrial sector, several methodologies are applied to optimize their production processes and supply chain, which undoubtedly impact social, environmental and economic sustainability. In this thesis, five articles are reported, where structural equation models are presented to relate good practices applied to the supply chain and lean manufacturing tools with sustainability in its three dimensions. These relationships between variables are established as hypotheses that are validated with information obtained through questionnaires applied to the regional maquiladora industry and through the partial least squares technique. The results indicate that tools such as total productive maintenance facilitate rapid changes in the production lines, quickly facilitating the production of more customized items. Additionally, it helps and promotes social, economic and environmental sustainability by avoiding the generation of errors and poor-quality products. Likewise, the results indicate that in the IMMEX, given its nature as a subsidiary company, the integration of clients and consumers is irrelevant since the parent company often plays the same role.

Keywords: Structural equation modeling, lean manufacturing, supply chain, sustainability, Ciudad Juarez.

RESUM

La Indústria Manufacturera, Maquiladora i de Servei d'Exportació (IMMEX) té actualment 5,160 empreses a nivell nacional a Mèxic, de les quals 486 estan establertes a l'estat de Chihuahua i de manera específica, 322 són a Ciudad Juárez, on només en aquesta regió genera 336.901 llocs de treball i per això la importància del seu estudi. En aquest sector industrial s'apliquen diverses metodologies per optimitzar-ne els processos de producció i cadena de subministrament, les quals sens dubte tenen un impacte en la sostenibilitat social, ambiental i econòmica. En aquesta tesi es reporten cinc articles en què es presenten models d'equacions estructurals per relacionar les bones pràctiques aplicades a la cadena de subministrament i les eines de manufactura esvelta amb la sostenibilitat en les seves tres dimensions. Aquestes relacions entre variables s'estableixen com a hipòtesis que són validades amb informació obtinguda a través de qüestionaris aplicats a la indústria maquiladora regional i aplicant la tècnica de mínims quadrats parcials. Els resultats indiquen que eines com el manteniment productiu total faciliten els canvis ràpids a les línies de producció, facilitant la producció d'articles més personalitzats i de manera ràpida; a més, ajuda i fomenta la sostenibilitat social, econòmica i ambiental, en evitar que es generin errors i productes de mala qualitat. De la mateixa manera, els resultats indiquen que, a la IMMEX, atesa la seva naturalesa com a empresa filial, la integració dels clients i els consumidors no és rellevant, ja que sovint l'empresa matriu juga aquest mateix rol.

Paraules clau: models d'equacions estructurals, manufactura esvelta, cadena de subministrament, sostenibilitat, Ciudad Juárez.

SECCIÓN II: INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La manufactura y sus orígenes

La manufactura es el proceso de producción en el que se transforman materias primas o componentes en productos terminados, en los que se hace uso de herramientas, maquinaria, mano de obra y tecnología (Johnson and Wilson 1988). En otras palabras, manufacturar un producto se refiere a crear un bien a gran escala, de acuerdo con las necesidades de la demanda del mercado identificada (Lopes et al. 2023).

Sin embargo, esos dos conceptos son modernos, ya que se refiere a la manufactura industrial. Los orígenes de la manufactura se remontan a procesos artesanales, en los que no existían máquinas y herramientas especializadas, generándose productos manuales que solían ser muy diferentes unos de otros. Con la evolución de las técnicas y metodologías, en la que se generaron máquinas especializadas, nace la manufactura industrial en la que los procesos son más estandarizados, se producen grandes cantidades de productos de forma eficiente y económica (Bastas 2021).

La manufactura actualmente es una actividad esencial en la economía de un país y de ahí su importancia, ya que permite la creación de empleo y la generación de ingresos, así como el desarrollo de nuevas tecnologías, la innovación en productos y procesos (Bag and Pretorius 2022). Sin embargo, requiere de grandes inversiones en tópicos asociados a robótica, la inteligencia artificial y la automatización.

Tradicionalmente se conocen cuatro revoluciones industriales, aunque ya se podría hablar de una quinta, las cuales son (Abbadí et al. 2020; Esmaeilian et al. 2016):

1. La Primera Revolución Industrial ocurrió a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, principalmente en Inglaterra. Se caracterizó por la mecanización de la producción asociada a la invención de la máquina de vapor. Es aquí donde nacen las primeras fábricas de producción, dejando a un lado los talleres artesanales.
2. La Segunda Revolución Industrial ocurrió a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, y se originó en Europa y Estados Unidos de América. Se caracterizó por la aplicación de la energía eléctrica para hacer funcionar las máquinas a diferentes sectores, tales como industrias extractivas, química y procesos productivos. Es aquí donde nacen los sistemas de producción en masa y la utilización de líneas de ensamblaje, aunque con pocos cambios en las mismas.
3. La Tercera Revolución Industrial (Revolución Digital) ocurrió en los años 70s a raíz del desarrollo de la electrónica, la informática y las tecnologías de la comunicación que fueron aplicados a los sistemas productivos. Se observó una fuerte automatización y la robotización de procesos industriales, lo que permitió la estandarización de los procesos.
4. La Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0) se origina en Alemania en el año 2011, donde muchas de las máquinas a través de tecnología digital tenían conectividad entre ellas, con sistemas inteligentes integrados, capaces de tomar decisiones y adaptarse para mejorar los productos.

5. La Quinta Revolución Industrial (Industria 5.0) se origina durante la pandemia por COVID-19, donde se integraron tres conceptos importantes que no resolvía la industria 4.0, tales como la integración de los factores humanos, el respeto por el ambiente y la resiliencia (Thomaz and Bispo 2022).

Aunque el cuidado ambiental es uno de los tres pilares de la Industria 5.0, en realidad la preocupación por los efectos negativos de los procesos industriales en el ambiente se empezó a observar desde mediados del siglo XIX, cuando la salud humana se vio afectada por la emisión de gases tóxicos al aire, degradación del suelo y contaminación de las aguas.

Ya en la década de 1960 se incrementó la conciencia ambiental en las personas, lo que ha llevado a la creación de organizaciones de carácter civil que fomentan el cuidado del medio ambiente (Greenpeace, World Wildlife Fund, Sierra Club, World Wildlife Fund). Sin embargo, los países se han unificado y llegado a acuerdos a través de diferentes organismos, establecido leyes y normativas, tales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Banco Mundial, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), entre otras (Wu et al. 2020).

1.1.1 La manufactura esbelta o lean manufacturing

La manufactura esbelta (tradicionalmente conocida como lean manufacturing, LM) se refiere a un enfoque de gestión de procesos productivos que buscan la eliminación de desperdicios y mejoramiento de la eficiencia de las líneas de producción (Díaz-Reza et al. 2022). Se acepta que LM nace en los sistemas de producción de Toyota, de donde se ha exportado a diferentes países para la gestión de la cadena de suministro y la producción.

La primera vez que aparece la palabra LM en un documento científico es con Delbridge and Oliver (1991) hace más de 40 años y aún sigue siendo tema de investigación en varios ámbitos. Sin embargo, la cantidad de documentos se ha incrementado y el año 2022 se han publicado 432 documentos, según una búsqueda en la base de datos de Scopus, habiendo un total de 5,729 a la fecha (19 de marzo de 2023). La Figura 1.1 ilustra la cantidad de documentos que abordan el tópico de LM de acuerdo con la siguiente ecuación de búsqueda TITLE-ABS-KEY ("lean manufacturing"), donde claramente se observa un crecimiento exponencial. Sin embargo, es importante que para el ajuste de la curva de tendencia se han eliminado 73 documentos publicados en el año 2023 con la finalidad de lograr un mejor ajuste.

La idea central de LM es dar valor a las operaciones del sistema productivo, agregando funciones que solamente son útiles al cliente y que, por ende, puede pagar por ellos. Esas herramientas pueden clasificarse según el objetivo que se pretenda con su aplicación en los sistemas productivos y la mejor forma de explicarlo es a través de la famosa casa de manufactura esbelta, misma que se ilustra en la Figura 1.2 que contiene un conjunto de herramientas base, de flujo de producción o materiales, de calidad y sistemas de manufactura (García-Alcaraz et al. 2021a). Sin embargo, aquí es importante

mencionar que en la literatura es posible encontrar muchas otras casas o estructuras para la integración de las herramientas de manufactura esbelta según el autor consultado, pero todas coinciden en los beneficios que se obtienen de la misma (Gupta 2016).

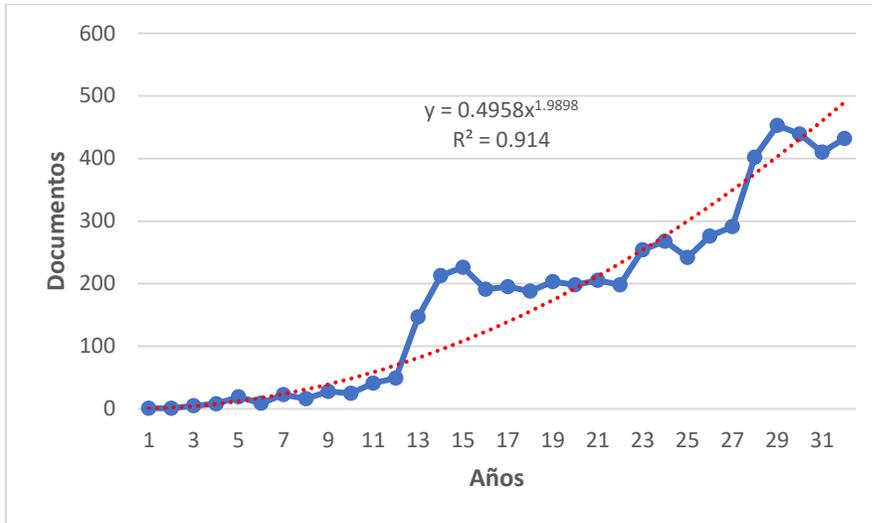


Figura 1.1 Tendencias en documentos de LM



Figura 1.2 La casa de la calidad

El primer conjunto de herramientas se refiere a los conceptos fundamentales y a veces también es conocido como base o estandarización de los procesos, dónde se

encuentran aspectos asociados a 5s, la fábrica visual, la administración de la seguridad el mantenimiento productivo total, Kaizen y 6 Sigma para garantizar la calidad (García Alcaraz et al. 2021). La implementación de estas herramientas es de vital importancia para que sirva de base a los pilares de la manufactura esbelta y si éstas no son suficientemente sólidas, es posible que los pilares y los beneficios no sean debidamente implementados.

El primer pilar se refiere al flujo de la producción al interior del sistema productivo; es decir, a los materiales o inventario que fluye desde el almacén de materia prima hasta el almacén de producto terminado. En este conjunto de herramientas se encuentran justo a tiempo (JIT), flujo de una sola pieza, sistema de empuje, primeras entradas primeras salidas, Single-minute exchange of die (SMED), kanban, reducción de tiempo de trabajo, eliminación de desperdicios o mudas. Este pilar es de vital importancia dado que se refiere a actividades que no le agregan valor al producto, simplemente lo mueven de un lugar a otro o buscan que las entregas se realicen en el momento y cantidad adecuada, por lo que la reducción al mínimo es lo mejor (Karam et al. 2018; Wang et al. 2012; Kochańska and Burduk 2019).

El segundo pilar se enfoca a garantizar la calidad y es por ello que la manufactura esbelta es considerada una filosofía de trabajo holística, ya que integra la calidad como un Pilar y a 6 Sigma en la base, las cuales buscan eliminar los defectos y garantizar las especificaciones de los clientes. Entre las herramientas que se encuentran en este pilar se pueden mencionar a poka-yoke, calidad en la fuente, instrucciones de trabajo estandarizados, mapeo de cadena de valor, control total de la calidad, control estadístico de calidad, entre otras (Green et al. 2019a; Lorenzon dos Santos et al. 2019; Wijaya et al. 2020).

El tercer pilar se refiere a la forma en que se organizan las máquinas y herramientas dentro del espacio físico de la empresa para optimizarlo y entre éstas se puede mencionar a la manufactura celular, la producción por lotes, distribución de planta o layout, áreas de trabajo multifuncionales, grupos tecnológicos, programación en un solo punto, entre otros (Burggräf et al. 2021; Tarigan et al. 2019; Vijay and Gomathi Prabha 2020).

Es importante mencionar que recientemente, autores como Sakthi Nagaraj and Jeyapaul (2020), Hernandez-Matias et al. (2019) y Colim et al. (2021) cuestionan fuertemente la necesidad de integrar un cuarto pilar en el que se indiquen los factores humanos, ya que son soporte de muchas de las herramientas y proponen de manera específica que se estudien aspectos como el liderazgo en los sistemas productivos, empoderamiento, bienestar social de los integrantes de los equipos de mejora, entornos sociales y sus comportamientos.

1.1.2 Los beneficios de manufactura esbelta

Los gerentes implementan LM en las líneas de producción esperando algún tipo de beneficio, ya que de lo contrario serían inversiones realizadas sin tener una retribución y serían solamente un gasto, aunque se acepta que el primer objetivo es la reducción de los

niveles de desperdicio. En este caso, puede decirse que cada uno de los pilares de LM ofrece algún tipo de beneficio; sin embargo, los más importantes son los siguientes: una mejor calidad a lo largo de todo el proceso productivo y en el producto final (Alcaraz et al. 2021), un enfoque en la satisfacción del cliente y sus necesidades (Goshime et al. 2019), un bajo costo al eliminarse muchos de los desperdicios que se tenían que agregar a los productos que salen al mercado (Scott 2005; Khataie and Bulgak 2013), un tiempo de entrega más corto al disminuir la cantidad de errores e incrementar la disponibilidad de máquinas y herramientas que garantizan el flujo continuo de las materias primas (Huayllasco-Martinez et al. 2022; Pérez-Pucheta et al. 2019; Caldas-Miguel et al. 2020), las entregas se realizan a tiempo de acuerdo a los planes y convenios establecidos con los clientes (Huayllasco-Martinez et al. 2022), se pueden establecer planes financieros a largo plazo (Rivera and Manotas 2013) y buenas relaciones con los proveedores (Saengchai and Jermstittiparsert 2019), entre otros. La Figura 1.3 ilustra algunos de esos beneficios.



Figura 1.3 Beneficios de LM

Todos los beneficios anteriores se pueden traducir en alguna cantidad y evaluarlos como recursos financieros, lo que representa la práctica industrial. Sin embargo, eso se refiere solamente a la sustentabilidad económica que puede obtener la empresa, pero LM ofrece también beneficios sociales y ambientales. Por ejemplo, con herramientas como las 5S se logra la reducción de accidentes en los lugares de trabajo y con el Mantenimiento productivo total (TPM) se evitan lesiones al operar las máquinas y herramientas (ya que consiste en la mejora continua y mantenimiento de la maquinaria e instalaciones), lo que representa una mejor sustentabilidad social (Sharma et al. 2019; Khalfallah and Lakhali 2021).

Además, con el uso de muchas herramientas se logra también un beneficio que da soporte a la sustentabilidad ambiental. Por ejemplo, Jidoka evita que piezas defectuosas

entren al mercado y que después tengan que regresar a remanufacturarse con los respectivos impactos asociados a transporte y energía que se requieren para rectificar el error (Da Silva 2016). Asimismo, al garantizar la calidad de los productos y fabricarlos bien a la primera vez se minimiza el desperdicio que al final tiene un impacto negativo en el ambiente. Así pues, se puede concluir que LM tiene un impacto en la sustentabilidad de las empresas maquiladoras en sus tres dimensiones, social, ambiental y económica.

1.2 La sustentabilidad

La sustentabilidad es un enfoque que busca satisfacer las necesidades de la sociedad en el presente sin comprometer esa capacidad en las generaciones futuras. Es decir, se busca un equilibrio entre los aspectos económicos, sociales y ambientales, asegurando que las acciones tomadas en el presente no tengan un impacto negativo en el futuro (Anand et al. 2022).

Lograr los objetivos de la sustentabilidad implica aplicar prácticas y políticas que promuevan la conservación y el uso responsable de los recursos naturales, así como la protección del medio ambiente y la biodiversidad, y ahí es donde la manufactura y sus procesos productivos juegan un rol importante (Maware and Parsley 2023). Además, promueve la equidad y justicia social, el fomento de la innovación y el desarrollo sostenible.

La palabra sustentabilidad aparece por primera vez en un documento científico en el reporte de Anderson (1970) hace más de 50 años y hasta la fecha, es un tópico en el que se ha publicado de manera exponencial. En una revisión de la palabra sustentabilidad en la base de datos Scopus, se han identificado 344,087 documentos, de los cuales 9,788 pertenecen al año 2023 y ya existen 2 para el año 2024. La Figura 1.4 indica cómo ha evolucionado este tópico a través del tiempo, donde los documentos del año 2023 y 2024 han sido eliminados para un mejor ajuste de los datos.

Tradicionalmente se acepta que la sustentabilidad tiene tres dimensiones, cada una enfocándose a un solo aspecto. Sin embargo, solamente las empresas que logran cumplir con todas ellas pueden ser aceptadas como sustentables. Las dimensiones de la sustentabilidad son (Longo et al. 2021; Fang et al. 2012):

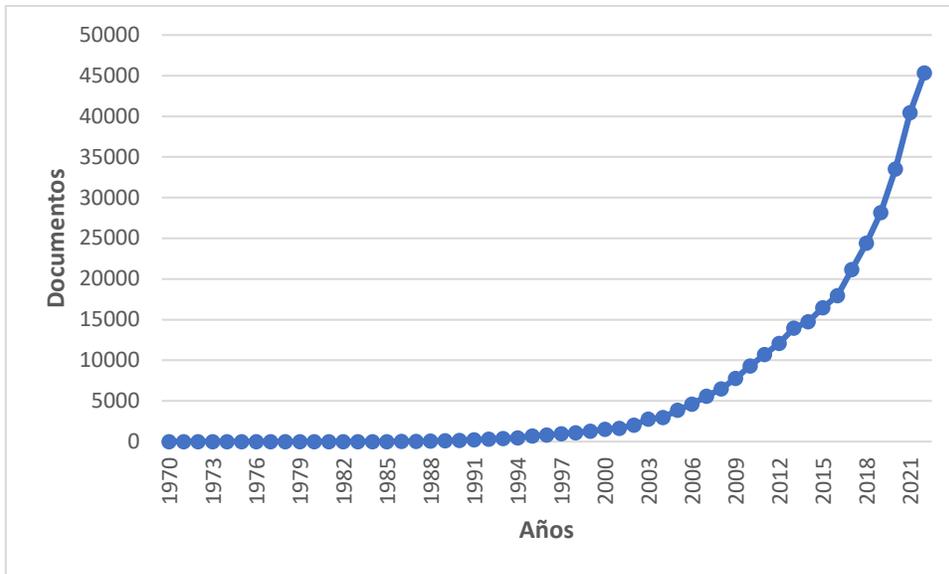


Figura 1.4 Línea del tiempo (Sustentabilidad)

- Sustentabilidad ambiental que se refiere a la capacidad de mantener y preservar los recursos naturales del planeta, incluyendo el aire, agua, suelo, flora y fauna, para asegurar que puedan ser utilizados y disfrutados por las generaciones actuales y futuras. La sustentabilidad ambiental implica reducir la huella ecológica y las emisiones de gases de efecto invernadero, promover el uso de fuentes renovables de energía, la protección de la biodiversidad, la reducción de la contaminación, y la conservación de los ecosistemas.
- Sustentabilidad económica se refiere a la capacidad de mantener un desarrollo financiero a largo plazo y justo para todos, promoviendo la creación de empleos, el aumento de la productividad y la reducción de la pobreza. Esta sustentabilidad implica el fomento de la innovación y el crecimiento sostenible, la reducción de la desigualdad, la inversión en infraestructura y la gestión responsable de los recursos naturales.
- Sustentabilidad social se refiere a la capacidad de mantener una sociedad justa, equitativa y cohesionada, promoviendo la inclusión, el respeto a los derechos humanos y la diversidad cultural, y asegurando que todas las personas tengan acceso a oportunidades de desarrollo y bienestar. La sustentabilidad social implica la promoción de la educación, la salud y el bienestar, la reducción de la violencia y la criminalidad, y la promoción de la igualdad de género y la inclusión de grupos vulnerables.

1.2.1 Los beneficios de la sustentabilidad

Tradicionalmente, se ha considerado que la sustentabilidad económica era la más importante para las empresas y los departamentos de contabilidad y finanzas jugaban y juegan un papel importante para asegurarse de que así sea. Realizando una vigilancia de

los ingresos y egresos de las empresas, se tienen los siguientes beneficios de la sustentabilidad económica (Afonso et al. 2022; Rosasco and Perini 2018; Rosasco 2018):

1. Una reducción de los costos, ya que se identifican actividades en los cuales son altos y se toman acciones para minimizarlos, aunque es posible que nunca se eliminen, lo que garantiza un mejor uso de los recursos.
2. Se minimizan las sanciones por entregas demoradas con clientes que son claves para la empresa.
3. Se reduce el tiempo de ciclo de los procesos productivos, lo que a su vez facilita la entrada temprana a los mercados.
4. Se genera una imagen de empresa de bajo costo y con un balance adecuado con el precio.

En relación con la sustentabilidad social, las empresas que se dedican a la manufactura, al aplicar esos principios, obtienen los siguientes beneficios (Arnoldussen et al. 2022; Fedorova and Pongrácz 2019):

1. Se mejora las relaciones con los trabajadores al mejorar las condiciones laborales y con la comunidad, ya que las prácticas sostenibles que adoptan están enfocadas también en beneficio de estas, y que permite aumentar su aceptación en la misma.
2. Se evitan accidentes y riesgos laborales que a su vez representan un beneficio económico, ya que se evita pagar sanciones administrativas, salarios por incapacidades, demandas judiciales, entre otras.
3. Las empresas socialmente responsables tienen mayor atracción y retención de talento, lo que permite tener personal altamente capacitado en las áreas administrativas y operativas.
4. Se fomenta el desarrollo económico de las comunidades y regiones en las que se encuentran establecidas, ya que crean empleos y oportunidades de inversión para muchas personas.
5. La presencia de empresas responsables en las naciones, ayudan a genera empleo y mitigar la migración de las personas.
6. Asimismo, se mejora de la calidad de vida de las personas, las sociedades, regiones y naciones, lo cual es debido al desarrollo económico.
7. Finalmente, se contribuye al bienestar social, ya que muchas de esas prácticas de la empresa están encaminadas a apoyar iniciativas sociales, culturales y educativas, y al promover la igualdad y la diversidad en el lugar de trabajo.

Con relación a la sustentabilidad ambiental, esta es la categoría que casi siempre se analiza cuando se habla de sustentabilidad, considerando que los aspectos económicos y sociales se analizan aparte. Algunos de los beneficios de aplicar prácticas de sustentabilidad ambiental son las siguientes (Bezerra et al. 2020; Sharma and Geerlings 2017):

1. Se identifican las operaciones y procesos productivos que generar un alto impacto ambiental, lo que permite evaluar alternativas asociadas a la disminución de éste y con ello, la mejora continua.

2. Se evita la contaminación de las fuentes hídricas, suelo, aire y del entorno en general.
3. Se mejora la imagen de la empresa ante la sociedad, lo que permite conservar clientes y adquirir nuevos.
4. Se da cumplimiento a las normas y regulaciones ambientales, fomentando también el impacto social y económico, ya que se evitan sanciones por parte de organismos encargados de vigilar su cumplimiento.
5. Se fomenta la innovación de los procesos productivos, ya que las fuentes contaminantes deben mejorarse o ser sustituidas por otras que eviten los problemas.

1.3 El binomio manufactura esbelta y sustentabilidad – Una revisión

A lo largo de los años, LM se ha estudiado desde varios puntos de vista en distintos países e industrias y se ha relacionado con la sustentabilidad. Es decir, se ha buscado identificar los beneficios de las diferentes herramientas de LM y su efecto en la sustentabilidad, ya que ambas ofrecen beneficios que son ampliamente deseados por los gerentes y administrativos de las empresas (Pham and Kim 2019).

Recuérdese que LM está enfocada en la disminución de desperdicios y procesos innecesarios del proceso productivo para maximizarlo, los cuales sin duda impactan a la sustentabilidad de la empresa en cualquiera de sus pilares, económico, social o ambiental. Por ejemplo, una reducción de desperdicios evita que muchos componentes terminen en los depósitos de vertederos locales (Aryampa et al. 2021); sin embargo, no solamente se pierde el material, también se pierde la energía y mano de obra requerida en su transformación, sin contar las emisiones generadas.

Por ello, varias investigaciones se han enfocado a encontrar la relación entre las prácticas de las diferentes herramientas de manufactura esbelta y la sustentabilidad, aunque muchos de esos estudios se han enfocado solamente a algunas de las herramientas de LM. En una búsqueda en la base de datos de Scopus haciendo uso de la ecuación (TITLE-ABS-KEY ("sustainability") AND TITLE-ABS-KEY ("lean manufacturing")), se han identificado un total de 377 documentos, donde a la fecha (20 de marzo de 2023), ya existían 16 en el año 2023.

La Figura 1.5 ilustra la línea del tiempo de esa evolución, donde claramente se observa una tendencia incremental. El primer documento científico que hace referencia a ambos términos fue el de Okonkwo and Demendonca (2000) y fue publicado hace más de dos décadas y se trata de una memoria en conferencia. Tres años más tarde, Comm and Mathaisel (2003) publican el primer artículo que asocia esas dos palabras, pero es aplicado a una institución educativa. Fue hasta el documento de Pham and Thomas (2005) que aparece el primer artículo con una aplicación industrial.

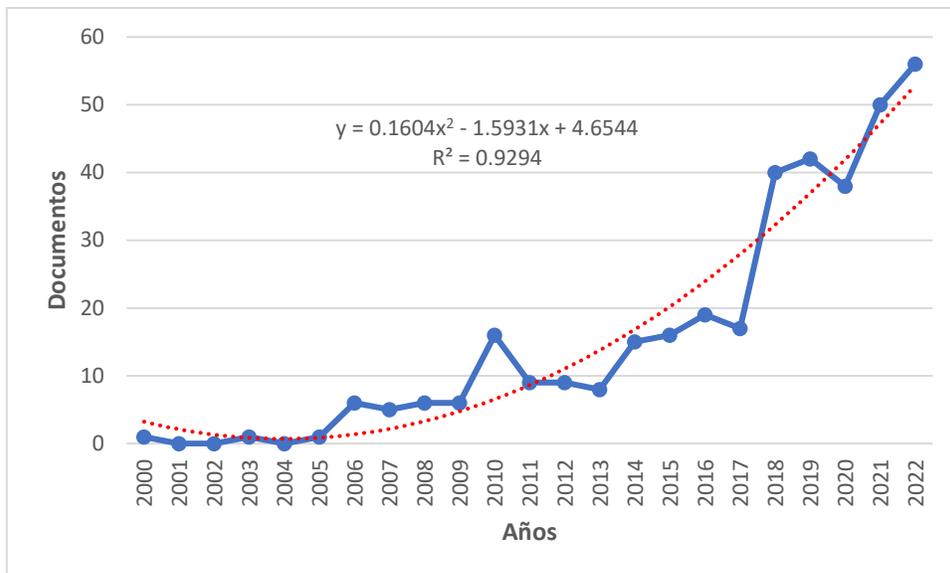


Figura 1.5 Línea del tiempo (Lean Manufacturing-Sustainability)

De esos 377 documentos reportados en Scopus, 307 se refieren a artículos científicos, 122 a memorias de conferencias, 24 son revisiones, 10 son capítulos de libro, 9 son revisiones de conferencias, 3 son libros y finalmente, 2 son encuestas cortas. Sin embargo, se observa que dados los beneficios que ha ofrecido LM, sus aplicaciones ya no son solamente en la industria, ya que 239 documentos son en el área de ingeniería, 148 en administración y negocios, 105 en ciencias computacionales, 74 en ciencias ambientales, 73 en ciencias de la decisión, 55 en energía, 52 en ciencias sociales, entre otras.

Entre las revistas que más publican sobre este tópico se encuentran Sustainability Switzerland (26), Journal Of Cleaner Production (18), Lecture Notes In Mechanical Engineering (10), Journal Of Manufacturing Technology Management (9), Aip Conference Proceedings (7), International Journal Of Lean Six Sigma (6), Production Planning and Control (6), International Journal Of Production Research (5), Iop Conference Series Materials Science And Engineering (5), Smart Innovation Systems And Technologies (5), entre otras.

Entre los autores que más documentos tienen en este tópico son García-Alcaraz, J.L. (6), Sharma, S. (6), Tripathi, V. (6), Vinodh, S. (6), Chattopadhyaya, S. (5), Ciptomulyono, U. (5), Farris, J.A. (5), Glover, W.J. (5), Kumar, N. (5), Mathiyazhagan, K. (5), entre otros.

1.3.1 Los principales autores y documentos de Lean Manufacturing – Sustentabilidad

Se identifican 991 autores que investigan este tópico y que tienen al menos un documento publicado. Los autores más importantes de acuerdo con el número de citas que han recibido en todos los trabajos que han realizado son Badurdeen F. (426), Vinodh S. (416), Cherrafi A. (698), Benhida K. (304), Elfezazi S. (304), Mokhlis A. (298), Faulkner W. (286), Aguado S. (236), Domingo R. (236), Dhone N.C. (235), Gunasekaran A. (235), entre otros.

De los 377 documentos, no todos han recibido el mismo número de citas. Los 10 documentos más importantes en base al número de citas que han tenido se ilustran en la Tabla 1.1. Se observa claramente que el binomio LM-sustentabilidad ha ganado mucha importancia académica y científica.

Tabla 1.1 Documentos más importante de LM-Sustainability

Autor	Documento	Citas
Faulkner and Badurdeen (2014)	Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): Methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance	286
Cherrafi et al. (2016)	The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model	298
O'Rourke (2014)	The science of sustainable supply chains	200
Verrier et al. (2014)	Combining organizational performance with sustainable development issues: The Lean and Green project benchmarking repository	172
Vinodh et al. (2011)	Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives	164
Aguado et al. (2013)	Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation	157
Helleno et al. (2017)	Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry	153
Miller et al. (2010)	A case study of lean, sustainable manufacturing	153
Ghobakhloo and Fathi (2020)	Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing	153
Henao et al. (2019)	Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges	142

1.4 La industria maquiladora mexicana

Con el crecimiento de la población mundial se ha incrementado la demanda de productos y servicios, los cuales muchas veces no son fácilmente satisfechos por un país y éstos los deben importar de otros, lo que incrementa la complejidad de sus cadenas de suministro. Para solucionar ese problema, muchos componentes de un producto final deben importarse de otro país que tenga la disponibilidad de ese tipo de recursos, por lo cual se puede decir que los sistemas productivos hoy en día están globalizados, ya que las materias primas pueden provenir de un país, ser transformados en otro y consumidos en uno diferente (Wu 2011; Tomasic and Xiong 2016). Por ejemplo, en el proceso de ensamble de un avión Airbus intervienen España, Alemania, Francia, Reino Unido, por mencionar solamente algunos.

Sethi et al. (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.

Algunas ventajas de la globalización es que permite que muchos países se especialicen en sectores industriales en los cuáles poseen recursos naturales que pueden explotar, lo cual permite disminuir el costo de producción y ofrecer productos competitivos en el mercado internacional (Tomasic and Xiong 2016). Sin embargo, muchas veces los consumidores se encuentran muy distantes y se requieren estrategias para disminuir los costos asociados al transporte y cadena de suministro en qué se incurriría si se transportan los productos terminados desde su país de origen al país en que se consume.

Una de las estrategias que siguen las empresas para acercarse a sus clientes o consumidores finales, es establecer filiales en el país de estos, o lo más cercano posible (Chanda and Ray 2016). Se acepta que los Estados Unidos de América es el país con el más alto nivel de consumo y México es un país cercano a éste, por lo que muchas empresas se establecen en el territorio mexicano para acercarse a ese mercado norteamericano. A estas empresas comúnmente se les conoce como maquiladoras, mismas que deben importar las materias primas desde otros países, procesarlas y ensamblarlas en México, para después exportarlas como productos terminados (García-Alcaraz et al. 2022a).

Actualmente existen 5,160 empresas maquiladoras establecidas en el territorio nacional mexicano, de las cuales 486 se encuentran en el estado norteño de Chihuahua, lo que representa el 9.41% del total nacional. De manera específica, 322 maquiladoras están establecidas en Ciudad Juárez, lo que representa el 6.24% del total nacional y el 66.25% del total estatal (IMMEX 2023c).

A nivel nacional, esas empresas importaron y exportaron un total de 464,691 y 464,914 millones de dólares en 2022, respectivamente. A nivel estatal en Chihuahua, las empresas IMMEX importaron 55,763 y exportaron 55,789 millones de dólares (12% del total nacional) y de manera específica, en Ciudad Juárez las empresas IMMEX importaron y exportaron 41,822 y 41,843 millones de dólares, lo que indica la importancia económica de ese sector en la región (IMMEX 2023a).

Actualmente existen 2,907,309 empleos directos que ofrece la industria maquiladora a nivel nacional en México, pero 510,865 se encuentran establecidos en el estado de Chihuahua y más específicamente, 336,901 se encuentran en Ciudad Juárez, lo que indica la importancia social que tiene esa industria para la región, ya que el 69% de la comunidad económicamente activa se encuentra laborando en ese sector (IMMEX 2023b). El resto de los empleos del estado se encuentran establecidos en otras ciudades, tales como Chihuahua (23%), Delicias (4%), Parral (2%), Cuauhtémoc (3%) y Nuevo Casas Grandes (2%).

Esas empresas maquiladoras que se establecen en el territorio nacional de México logran muchas ventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes: una mayor cercanía geográfica con el mercado de los Estados Unidos de América, obtienen preferencias arancelarias debido a que existe un tratado de libre comercio entre ambos países, incluido Canadá (Paik and Teagarden 1995); además, en México existe un alto nivel de entrenamiento en los operadores y el costo de la mano de obra es menor en comparación a otros países (Eldenbug et al. 2007).

Por lo anterior, se puede mencionar que la industria maquiladora tiene una importancia económica, social y ambiental debido a los procesos que en ellas se realizan y por tal motivo, las actividades y operaciones que se realizan en ese sector merecen ser estudiados.

1.4.1 La toma de decisiones en la industria maquiladora

Con la llegada de esas empresas maquiladoras a México, también han sido implementadas tecnologías de la información y comunicación, tecnologías avanzadas para la manufactura, así como estrategias administrativas que permitan administrar sus recursos y la toma de decisiones es compleja debido a la cantidad de variables que intervienen.

Esa toma de decisiones es la base de muchos campos de ingeniería, y su aplicación científica es la forma de optimizar recursos y rendimiento en sistemas de producción (y logísticos, siempre inherentes a los sistemas productivos). Una forma de sistema de apoyo a la toma de decisiones consiste en la elaboración de modelos que resuman las características de interés del sistema productivo, y que permitan tanto el análisis como la simulación de éstos en diferentes escenarios, de manera matemática y empleando aplicaciones y herramientas computacionales que agilicen los cálculos y eviten posibles errores de estimación.

Actualmente, existen diversas metodologías con sus formalismos y restricciones asociadas para el modelado de sistemas productivos, entre los que se encuentran los sistemas de ecuaciones estructurales (SEM), los modelos discretos en redes de Petri, la dinámica de sistemas, entre otros (Latorre-Biel Juan et al. 2018; Latorre-Biel et al. 2015; García-Alcaraz et al. 2014).

Esa toma de decisiones rápida permite orientar al sistema hacia la estrategia productiva de mayor interés para evitar la producción de desperdicios y optimizar los sistemas productivos (Díaz-Reza et al. 2018a; Díaz-Reza et al. 2018b). Igualmente, existen diversidad de estrategias de producción orientadas a la mejora continua de los procesos productivos y la optimización de los recursos disponibles. Algunas empresas apuestan por enfocarse a la calidad de los productos e implementan programas como seis sigma y control estadístico de sus procesos productivos, pero existe una metodología que es integral y que se denomina manufactura esbelta o comúnmente conocida como lean manufacturing (LM) (Tripathi et al. 2022; Anosike et al. 2021), la cual integra varias herramientas que se enfocan en la eliminación o minimización de los desperdicios.

1.5 Manufactura esbelta y sustentabilidad – sus aplicaciones

A lo largo de los años, la LM se ha estudiado desde varios puntos de vista en distintos países e industrias y se ha relacionado con la sustentabilidad, pero no en la industria maquiladora mexicana. Por ejemplo, en su revisión de la literatura sobre LM, seis sigma (SS), y la integración de la sustentabilidad, Cherrafi et al. (2016) informan que sólo seis trabajos han vinculado esas estrategias de producción en países como el Reino Unido, España, Nueva Zelanda y Suecia, por lo que es una área de oportunidad en México.

Younus et al. (2020) también estudiaron los efectos de la LM, la SS y la sustentabilidad en las pequeñas y medianas empresas de Pakistán mediante el coeficiente de Spearman, indicando una relación significativa entre esas variables, lo que da fortaleza estadística al análisis. Además, Palange and Dhatrik (2021) encontró que LM es una metodología vital para aumentar la sustentabilidad económica y la productividad de las empresas en India cuando se aplica a los sistemas de fabricación.

Sin embargo, LM comprende un conjunto de herramientas, y algunas investigaciones generalizan su concepto. En términos de sustentabilidad, el papel de ciertas herramientas de LM se estudia ampliamente en todo el mundo de manera aislada. Por ejemplo, Green et al. (2019b) realizaron una investigación sobre el efecto de Just in Time (JIT) y la Gestión de la Calidad Total (TQM) en la sustentabilidad ambiental, mientras que Sahoo (2019a) relacionó JIT y TQM con el rendimiento operativo y económico. Asimismo, Jahangir et al. (2020) analizaron los efectos del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y los recursos humanos en la sustentabilidad organizativa, generalizando el concepto de LM.

También, Samadhiya and Agrawal (2020) señalan a TPM como una herramienta crítica para garantizar el flujo de materiales y la sustentabilidad económica, mientras que Chen et al. (2019) encontraron que el TPM es vital para la sustentabilidad económica, pero también la ambiental; sin embargo, no analizan la sustentabilidad social. Por su parte, Gungor and Evans (2016) identifican a TPM como una métrica vital para la sustentabilidad económica y Yazdi et al. (2018) vincularon el Overall Equipment Effectiveness (OEE) a la sustentabilidad operativa y la consideraron esencial para la migración a la industria 4.0, pero Cercós et al. (2019) relacionaron el OEE con las emisiones de CO₂. Por último, Romero et al. (2019) encontraron que las estrategias de Jidoka y automatización en la maquinaria ayudan a evitar los errores humanos, favoreciendo así la sustentabilidad al minimizar el reprocesamiento de productos defectuosos, pero incrementa el nivel de satisfacción laboral al generar productos sin errores.

La relación de LM con la sustentabilidad general de las empresas también ha sido investigada de manera aislada. Por ejemplo, Silva et al. (2013) reportan un estudio basado en entrevistas con gerentes y administrativos de empresas para investigar dicha relación y reportan que existe una asociación positiva. Sahoo (2019b) reportan que las prácticas de LM se relacionan con el desempeño general y sustentable de las empresas, e indican que el factor social y técnico juega un factor mediador importante. Finalmente, Ciannella and Santos (2021) analiza la relación directa que existe entre las prácticas

asociadas a manufactura esbelta y que llevan a cabo los empleados y cómo esto influye en la sustentabilidad social de las empresas. En conclusión, existe evidencia de que la manufactura esbelta se relaciona con la sustentabilidad social que existe en el sector productivo.

La relación de LM con la sustentabilidad ambiental en específico ha sido más ampliamente investigada en comparación con la social. Por ejemplo, Yang et al. (2011) fue el primero en analizar esa relación hace más de una década; sin embargo, se enfocaba a aspectos administrativos ambientales y el cumplimiento de normativas gubernamentales. Bilgili et al. (2013) por su parte, integra a esa relación la metodología de 6 Sigma para asegurar la calidad; sin embargo, en los modelos actuales 6 Sigma es una herramienta más de LM y no una técnica o herramienta separada. Chen et al. (2020) declara que la relación de LM y la sustentabilidad debe ser soportada por el involucramiento de los empleados y las normativas establecidas en la ISO 14,001. Es decir, la LM se relaciona con la sustentabilidad económica, social y ambiental de la empresa.

1.6 El problema de investigación

Aún con la importancia que tiene la industria maquiladora para la región de Ciudad Juárez en México de acuerdo con las cifras presentadas anteriormente, son pocos los estudios que se han realizado y que busquen integrar todas las herramientas de manufactura esbelta que se están aplicando en dicho sector. De los 377 documentos encontrados en Scopus, solamente 9 se relacionan con estudios realizados en el país. Los estudios que existen se enfocan solamente en algunas herramientas de manera específica, y tienden a ser reduccionistas al enfocarse solamente en algún tipo de sustentabilidad.

Algunos de esos estudios se refieren a la industria maquiladora nacional mexicana; por ejemplo, Velázquez et al. (2006) fueron los primeros en explorar la sustentabilidad desde un punto de vista económico. Pazos et al. (2009) fueron los primeros en analizar el binomio LM-Sustentabilidad, enfocándose en aspectos sociales, asegurando que son una fuente importante de la misma. Años después, Velazquez et al. (2014) analizaron la capacidad de las maquiladoras de productos eléctricos y electrónicos para generar una producción limpia y evitar las emisiones contaminantes. Desde una perspectiva similar, Díaz-Reza et al. (2016) examinaron la metodología Single Minute Exchange of Die (SMED) y los beneficios obtenidos por las maquiladoras al implementarla, reportando la sustentabilidad económica y operativa como las más importantes. Más recientemente, Arredondo-Soto et al. (2018) analizaron cómo la calibración de maquinaria y equipos puede reducir los costos y aumentar la sustentabilidad económica.

En relación con la aplicación de LM-Sustentabilidad en la industria de Ciudad Juárez, García-Alcaraz et al. (2019) indican que las habilidades de los empleados para generar calidad dan soporte a TQM. Asimismo, García Alcaraz et al. (2021) analizan 3 herramientas asociadas al pilar de calidad que ayudan a obtener beneficios financieros y sustentabilidad económica.

García-Alcaraz et al. (2021a) analizan tres herramientas de LM asociadas a la calidad de los procesos productivos y lo relacionan con la sustentabilidad económica de las empresas maquiladoras y más recientemente, García-Alcaraz et al. (2022a) reportan el efecto de las tecnologías de la información y comunicación, y como éstas facilitan la integración de metas comunes en la cadena de suministro.

Lo anterior indica que son pocos los estudios realizados en México para encontrar la relación del binomio LM-Sustentabilidad, en comparación con países como India que tiene 62 documentos, Estados Unidos de America con 58, Reino Unido con 37 y Malasia con 36, por mencionar solamente algunos. Asimismo, dada la importancia social, económica y ambiental que tiene la industria maquiladora nacional, la relación de ese binomio debe ser analizada y es un área de oportunidad para la investigación científica.

Los beneficios que se espera obtener de esta investigación permitirán la toma de decisiones de los gerentes para invertir en áreas que afectan la sustentabilidad de las empresas que dirigen, optimizar sus recursos, disminuir desperdicios, incrementar la aceptación social en la comunidad, disminuir el número de accidentes y sanciones administrativas por incumplimientos ambientales, entre otros. Ante la problemática anterior, se propuso el siguiente objetivo para esta investigación.

1.6.1 Objetivo de investigación

Cuantificar la relación que existen entre las herramientas de manufactura esbelta y buenas prácticas de la cadena de suministro con la sustentabilidad (económica, social y ambiental) de las empresas maquiladora establecidas en Ciudad Juárez (México).

1.7 Hipótesis de investigación

Se tiene planeado realizar una serie de modelos de ecuaciones estructurales (SEM) en los que se relacionen las herramientas de LM con las dimensiones de la sustentabilidad en las industrias mexicanas, por lo que la hipótesis general es la siguiente:

H₁. Las herramientas de manufactura esbelta y buenas prácticas en la cadena de suministro tienen un efecto directo y positivo en la sustentabilidad de las empresas maquiladoras mexicanas.

La Figura 1.6 ilustra gráficamente la hipótesis; sin embargo, es importante mencionar que habrá muchas otras hipótesis particulares que se presentan de manera específica, dependiendo de las herramientas que se analicen y su entorno.

1.8 Limitaciones

Esta investigación tiene las siguientes limitaciones para lograr el objetivo:

1. El proyecto no cuenta con un financiamiento para su realización y se requiere trabajo de campo para obtener información de las empresas, lo que puede requerir mucho tiempo.

2. El proyecto requiere acceso a información de las empresas maquiladoras establecidas en Ciudad Juárez, lo cual frecuentemente es difícil de realizar y más aún en periodo de pandemia por COVID-19.
3. El periodo establecido para obtener información de las empresas es de solamente un año y dos para realizar el análisis.

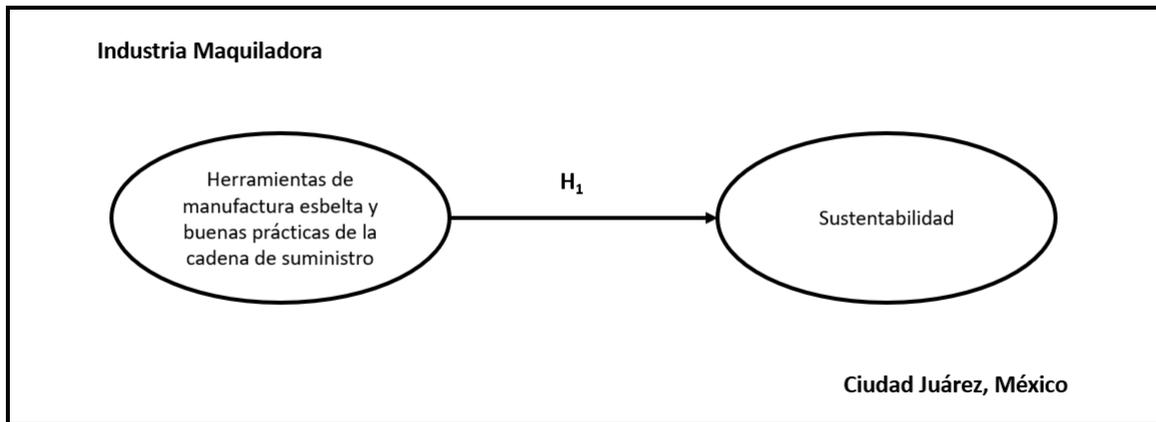


Figura 1.6 Hipótesis propuesta y su entorno

2. METODOLOGÍA

2.1 Elaboración de los cuestionarios

Para validar los modelos planteados e identificar la relación entre las herramientas de LM con la sustentabilidad, así como de la cadena de suministro verde y sus costos, se requirió información de industria maquiladora (IM), para lo cual se realizó una revisión bibliográfica con la finalidad de construir tres cuestionarios que sean aplicados a las empresas maquiladoras, buscando obtener información de primera mano.

Los tres cuestionarios constan de tres secciones. En la primera sección se busca obtener datos demográficos relacionados con los encuestados y su sector industrial, como antigüedad en el puesto, industria a la que pertenecen, género, entre otros. La segunda sección indaga sobre las herramientas de LM, las prácticas verdes asociadas a la cadena de suministro y las actividades sustentables asociadas a la proveeduría, proceso de producción y distribución. Finalmente, la tercera sección se dedicaba a la sustentabilidad, que analiza principalmente los enfoques social, ambiental y económico.

La información obtenida por medio de los cuestionarios ha sido utilizada para generar los artículos que se presentan en esta tesis, tal como se indica a continuación:

- Cuestionario de manufactura esbelta y sustentabilidad se usa para generar los artículos 1, 3 y 5.
- Cuestionario cadena de suministro sustentable se usa para generar el artículo 2.
- Cuestionario de prácticas verdes en la cadena de suministro se usa para generar el artículo 4.

Con la finalidad de tener una mejor idea de los tres cuestionarios usados, se da a continuación una descripción breve de las variables latentes e ítems que las integran y una descripción completa puede encontrarse en los Apéndices al final de esta tesis.

2.1.1 Cuestionario de manufactura esbelta y sustentabilidad

Este cuestionario se aplica en español y se enfoca en identificar el nivel de implementación que tienen las diferentes herramientas de LM en la industria maquiladora de Ciudad Juárez en México. Integra 35 herramientas de LM y los beneficios obtenidos como sustentabilidad social, económica y ambiental. Las herramientas se encontraban distribuidas de manera aleatoria en el cuestionario y la información obtenida de éste en diferentes etapas es usada para generar los artículos 1, 3 y 5.

Las herramientas de LM se clasificaron según el enfoque que estas tenían y provienen de reportes de varios autores.

1. Herramientas base (5S, trabajo estandarizado). Estas herramientas se encuentran en la base de la casa de LM y buscan mantener un área de trabajo limpia y procesos estandarizados (Carrera et al. 2021).

2. Herramientas de calidad (kaizen, poka-yoke, gestión visual, gemba, control total de la calidad, análisis de causa raíz, hacerlo bien a la primera vez, resolución de problemas mediante A3, método planear-hacer-verificar-actuar, 5 porqués). Estas herramientas buscan garantizar la calidad del proceso productivo mediante varios enfoques, creando una cultura organizacional enfocada en la mejora continua (Shammout and Jawazneh 2022; Myers et al. 2022).
3. Herramientas de flujos de materiales (flujo de una sola pieza, jidoka, kanban, justo a tiempo, análisis de cuello de botella, andon, cambios rápidos). Estas herramientas buscan garantizar el flujo de los materiales a través del proceso productivo, desde el abastecimiento de materias primas, hasta la distribución de productos terminados (Villalba-Diez et al. 2021; Rojas-Castro et al. 2022).
4. Herramientas de planeación (gestión de la demanda, heijunka, takt time, hoshin kanri, mapa del flujo de valor). Estas herramientas buscan prevenir errores y defectos antes de que ocurran, enfocándose en el proceso de predicción de la demanda y procesos de balanceo al interior del sistema productivo (De Araujo and De Queiroz 2010; Tortorella et al. 2019).
5. Herramientas para máquinas y herramientas (eficiencia general de los equipos, mantenimiento productivo total). Estas herramientas buscan mantener las máquinas en condiciones óptimas de servicio para garantizar la calidad del producto y el flujo de los materiales (Morales-García et al. 2021; Haddad et al. 2021).
6. Herramientas de organización de la producción (manufactura celular, seis grandes pérdidas, objetivos inteligentes, indicadores clave del desempeño, auditorías lean, descentralización). Estas herramientas se enfocan en los sistemas de distribución de la maquinaria, indicadores y parámetros que son vitales, el seguimiento administrativo que se les da y acciones correctivas (Sonmez and Pintelon 2020; Lande et al. 2019).
7. Herramientas de recursos humanos (equipos multifuncionales, integración de funciones, sistemas de información vertical). Se enfocan en la integración de los recursos humanos en la mejora continua y eliminación de desperdicios (Zhang et al. 2022).

En la parte final de las 35 herramientas de LM, se listan los posibles beneficios que podrían obtenerse de su implementación, los cuales son analizados con un tipo de sustentabilidad y que se divide en social, económica y ambiental (ul Haq and Boz 2020). En este caso, los items provienen del reporte realizado por Sarkar et al. (2021) y complementados con una revisión bibliográfica.

1. Sustentabilidad social. Se refiere a las remuneraciones que perciben los empleados de una empresa al aplicar LM, tales como la seguridad social, relaciones interpersonales, moral, motivación y otros incentivos (Ciannella and Santos 2022; Arnoldussen et al. 2022).
2. Sustentabilidad ambiental. Se refiere a los beneficios que obtiene la empresa por la aplicación de LM en su sistema productivo, tales como la reducción de emisiones

contaminantes a aguas, suelo y aire, reducción de accidentes ambientales y programas de reciclaje, entre otros (Chen et al. 2020; Kalyar et al. 2019).

3. Sustentabilidad económica. Se refiere los ahorros económicos que obtiene la empresa por aplicar LM, tales como la reducción del costo de producción, en desarrollo de nuevos productos, energía, insumos y materias primas, tratamientos residuales, entre otros (Reza et al. 2021; García-Alcaraz et al. 2021b).

Este primer cuestionario se encuentra en el Apéndice A, al final de la tesis, donde se tienen cada uno de los ítems que componen esas herramientas de LM. Esta revisión de literatura se considera una validación racional, ya que se basa en el conocimiento adquirido en otros países, industrias y diferentes contextos geográficos y políticos en los que se ha investigado la relación de LM-Sustentabilidad (Zhang et al. 2016).

2.1.2 Cuestionario cadena de suministro sustentable

Este cuestionario se aplica en idioma inglés, ya que está enfocado a gerentes de la cadena de suministro y muchos de ellos son extranjeros que laboran en la industria maquiladora mexicana. Este cuestionario se integra de dos ya reportados en la literatura, el primero corresponde a Ni and Sun (2019) y se enfoca en identificar la sustentabilidad a lo largo del proceso productivo, tales como el proceso de proveeduría donde se integra a los proveedores, producción y distribución donde se integra a los clientes. La segunda parte del cuestionario se refiere a la sustentabilidad y proviene de Sarkar et al. (2021).

La información obtenida de este cuestionario ha sido usada para generar el artículo 2. La segunda sección contiene las variables que provienen Ni and Sun (2019) y son las siguientes:

1. Sustentabilidad de entrada, enfocada a conocer la sustentabilidad de los proveedores, los procesos de educación y entrenamiento de éstos, los programas de mejora ambiental que se tienen de manera conjunta y el cumplimiento de normativas gubernamentales.
2. Sustentabilidad interna, se refiere a las certificaciones medioambientales que tiene la empresa, los programas para reducir el consumo de energía y agua, así como de emisiones contaminantes y reciclaje de residuos, y uso de logística inversa.
3. Sustentabilidad de salida, se refiere a cómo la empresa gana ordenes de producción debido a su contribución al desarrollo y bienestar de la sociedad, ganar nichos de mercado con clientes ambientalmente concientizados, así como la aceptación social y gubernamental por sus prácticas medioambientales.
4. Integración de proveedores, que se refiere a compartir información con proveedores clave relacionada con ventas, planes de producción y seguimiento de órdenes. De la misma manera, integra el desarrollo de proveedores e identificación de riesgos y toma de decisiones de manera conjunta.
5. Integración de clientes, que se refiere a compartir información con clientes clave y relacionada con tendencias de ventas, rastreo de órdenes de producción y entrega, identificar riesgos y tomar decisiones de manera colaborativa.

La tercera sección de este cuestionario corresponde a variables asociadas a la sustentabilidad y provienen de Sarkar et al. (2021), al igual que en el cuestionario de manufactura esbelta y sustentabilidad, por lo que no se describen en este apartado. Este cuestionario se encuentra disponible en el Apéndice B, donde se pueden apreciar todos los ítems que componen esas variables latentes.

2.1.3 Cuestionario de prácticas verdes en la cadena de suministro

Para identificar las buenas prácticas de la cadena de suministro sustentable, se usa un cuestionario previamente utilizado por Al-Sheyadi et al. (2019). Este cuestionario se aplica en idioma inglés, ya que estaba enfocado a gerentes de cadena de suministro o logística y en su mayoría, eran extranjeros laborando en la industria maquiladora de Ciudad Juárez. La información obtenida de este cuestionario se usa en el Artículo 4 y las variables latentes que se analizan son:

1. Reducción en la fuente, enfocado a identificar el uso de materiales reciclados y su variedad, el nivel de toxicidad de éstos y las certificaciones que se tienen.
2. Ecodiseño, enfocado a identificar el diseño del producto y su proceso productivo, el uso de materiales reciclables (envases, componentes, cajas, entre otros).
3. Administración del sistema ambiental, enfocado a identificar el sistema de gestión interno a través de las técnicas de inventarios, programas de gestión de residuos, cultura y educación ambiental, y sistema de mantenimiento de equipos.
4. Administración ambiental externa, enfocado a identificar la cultura ambiental de los proveedores, su participación en programas y certificaciones medioambientales.
5. Impactos ambientales, enfocado a identificar el consumo de materiales nocivos, emisiones al suelo, aire y agua, y manejo de residuos sólidos.
6. Reducción de costos ambientales, enfocado a identificar la reducción de costos asociados a tratamiento de residuos, consumo de energía, compra de material amigable con el medio ambiente y sanciones administrativas.

Dado que este cuestionario se usa en su totalidad en la versión usada por Al-Sheyadi et al. (2019), no se realiza una validación racional adicional, ya que el objetivo era comparar las relaciones que se tenían entre las variables en los modelos reportados y los que se generaron en esta investigación.

2.1.4 La validación por jueces de los cuestionarios

Dado que muchos de los ítems que componen las variables latentes en los tres cuestionarios provienen de investigaciones realizadas en otros contextos, se realiza una validación por jueces para adaptarlos al entorno cultural y las características específicas de la industria maquiladora establecida en Ciudad Juárez (México). Los jueces califican cada ítem en una escala de 4 puntos en relación a la suficiencia, claridad, coherencia y relevancia (Parsazadeh et al. 2018). Para el cuestionario de LM-Beneficios se integraron seis académicos y ocho gerentes activos en la industria maquiladora regional, mientras que para el cuestionario de prácticas verdes en la cadena de suministro y cadena de suministro sustentable participan solamente 6 gerentes activos en la industria.

Los cuestionarios LM-Beneficios y de prácticas verdes en la cadena de suministro constan de tres secciones, mientras que el de cadena de suministro sustentable tiene solamente dos. En la primera sección se busca obtener datos demográficos relacionados con los encuestados y su sector industrial, tales como antigüedad en el puesto, industria a la que pertenecen, género, etc. La segunda sección indaga sobre las herramientas de LM o actividades asociadas a la cadena de suministro y su sustentabilidad. Finalmente, la tercera sección se dedicaba a la sustentabilidad, que analiza principalmente los enfoques social, ambiental y económico y que son adaptaciones de (Sarkar et al. 2021).

Consúltense los cuestionarios usados en los apéndices:

- Apéndice A - Cuestionario de manufactura esbelta y sustentabilidad.
- Apéndice B - Cuestionario cadena de suministro sustentable.
- Apéndice C - Cuestionario de prácticas verdes en la cadena de suministro.

2.1.5 La escala

Para responder los cuestionarios se usa una escala Likert de cinco puntos, donde el uno indica que esa actividad no se realiza o que esa característica sustentable no se obtenía, mientras que un cinco indicaba que esa actividad siempre se realizaba o que el beneficio sustentable siempre se obtenía (Silvia et al. 2022). Valores como 2, 3 y 4 son usados para la categoría de casi nunca, regularmente y casi siempre.

2.2 Aplicación del cuestionario

En el año 2021, fecha en que inició esta investigación, en México aún estaba declarada la pandemia por COVID-19, por lo que los cuestionarios se aplicaron online a través de la plataforma Google Forms. Se solicitó ayuda a la Asociación de Maquiladoras A.C. de Ciudad Juárez, organismo que integra a la IMMEX (Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicio de Exportación) para la identificación de los gerentes y posibles encuestados.

A cada uno de ellos se les envía un correo electrónico, indicándoles el objetivo de la investigación e invitándoles a participar, asegurándoles que la información obtenida sería usada solamente con fines académicos, científicos y de manera anónima. De hecho, en la primera sección de los cuestionarios se pregunta si desea participar y acepta que se use su información con esos fines, en caso de responder que no, se envía a ese encuestado hasta la parte final del cuestionario, agradeciendo su participación.

Si después de 15 días, el posible encuestado no responde el cuestionario, se envía nuevamente una segunda invitación y si después de otros 15 días no responde, se envía una tercera invitación. Si después de tres invitaciones no se responde, ese caso es ignorado y se busca una persona alterna en esa misma empresa. Finalmente, es importante mencionar que todas las preguntas de la sección 2 y 3 fueron declaradas como obligatorias, por lo que no se podía avanzar si no se daba una respuesta a ellas, lo que permitió evitar la presencia de valores perdidos en las bases de datos.

2.3 Obtención de la información y depuración

Los cuestionarios permanecen abiertos para ser contestados desde el 15 de mayo al septiembre al 15 de agosto de 2021. Al finalizar el periodo de cierre, se descarga de la plataforma Google Forms un archivo en formato xls que puede ser abierto usando Excel de Microsoft office. Sin embargo, esa base de datos después es abierta mediante el software SPSS v. 25 para realizar una serie de actividades que permitan depurarla.

Las principales actividades de depuración son las siguientes:

- Se identificaron los valores extremos en cada una de las variables o ítems, por lo que ese estandarizó cada uno de éstos y si el valor absoluto es mayor a cuatro, se considera como un valor atípico y fue reemplazado por la mediana (Hoffman 2019).
- Se identificaron los encuestados no comprometidos que pudieron haber dado el mismo valor o respuesta a cada una de las preguntas o ítems. Para identificarlos, se obtuvo la desviación estándar de cada uno de los cuestionarios para las secciones 2 y 3, y si los valores obtenidos eran menores a 0.5, se concluía que el encuestado no estaba comprometido y ese cuestionario o caso fue eliminado del análisis (Sonmez and Pintelon 2020).

2.4 Análisis descriptivo de la muestra y los ítems

Para realizar el análisis descriptivo de la muestra, se hace uso de la información contenida en la primera sección de los cuestionarios, donde se preguntaban datos demográficos asociados al encuestado. Para interpretar la información se realizan tablas cruzadas en las que se integran al menos dos variables, tales como el género, el puesto que desempeñaban, los años de experiencia en el mismo, entre otros.

Para realizar una descripción de los ítems que componían cada una de las variables analizadas asociadas a la cadena de suministro o de manufactura esbelta, se realizan dos estimaciones:

1. Dado que se usa una escala Likert de cinco puntos para obtener las valoraciones de los encuestados, se usa la mediana como medida de tendencia central en lugar de la media aritmética. Valores altos o cercanos a cinco indican que la actividad siempre se realiza o que el beneficio sustentable analizado siempre se obtiene; sin embargo, valores bajos indican que esa actividad no se realiza, o que el beneficio sustentable no se obtiene (Iacobucci et al. 2015).
2. Nuevamente, dado que se tiene una escala Likert, se estima el rango intercuartílico como una medida de dispersión de cada uno de los ítems, el cual está definido por la diferencia aritmética entre el tercer y primer cuartil. Valores altos indican que no existe consenso entre los encuestados en relación al valor medio que tiene ese ítem; sin embargo, si el valor del rango intercuartílico es bajo o tiende a cero, se concluye que hay consenso entre los encuestados (Tominaga et al. 2018).

2.5 Validación de las variables latentes

Para validar las variable latentes y saber si sus ítems pueden explicarla de manera suficiente, se usan los índices propuestos por Kock (2019a), los cuales se estiman de manera iterativa, ya que frecuentemente eliminando un ítems se mejora la eficiencia de éstos. Los índices usados son:

- R^2 y R^2 ajustado para medir la validez predictiva paramétrica en las variables latentes dependientes y se desean valores mayores a 0.02.
- Índice de fiabilidad compuesto y alfa de Cronbach para medir la validez interna y se desean valores mayores a 0.7.
- La varianza media extraída (AVE) para medir la validez convergente y se desean valores mayores a 0.5.
- Q^2 para medir la validez predictiva no paramétrica, se desean valores mayores a cero y similares al valor de R^2 .
- Índice de inflación de la varianza (VIF) para medir la colinealidad, se esperan valores menores a 5 y preferentemente menores a 3.3.

Aunque los índices anteriores son los tradicionalmente usados para reportar validez en las variables latentes, algunas veces a petición de algunos revisores, se anexan otros coeficientes, 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 no deben incluir el cero), 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.

2.6 Modelo de ecuaciones estructurales (MEE)

Con las bases de datos generadas de los cuestionarios, una vez depuradas y validadas estadísticamente las variables latentes, se generaron modelos de ecuaciones estructurales (SEM) para analizar la relación que existen entre estas y medir el impacto que tienen en algún tipo de sustentabilidad analizada. En este caso, se considera que las herramientas de manufactura esbelta o actividades llevadas a cabo en la cadena de suministro son las variables independientes y que la sustentabilidad es la variable dependiente o de respuesta (Kock 2019a).

Se elige la metodología MEE debido a que permite el análisis de las variables latentes cuando éstas juegan diferentes roles, como independientes y dependientes de manera simultánea. En esta ocasión se utiliza la técnica de mínimos cuadrados parciales (PLS) para encontrar las relaciones entre las variables y se hace uso del software WarpPLS v.8®, ya que es recomendado cuando no se tiene normalidad en la distribución de los datos, la

muestra es pequeña o la información es colectada mediante valoraciones en una escala ordinal o Likert (Hwang et al. 2016).

Se generaron varios modelos usando la información de los cuestionarios (un modelo para cada artículo), tomando en cuenta aspectos como el sentido común y lógico de las relaciones la temporalidad de los eventos o actividades desarrolladas y la experiencia y recomendaciones de los gerentes y administradores de la industria maquiladora mexicana.

2.6.1 Ejemplo de modelo

Con la finalidad de entender el proceso de generación de los modelos de ecuaciones estructurales, se reporta el caso del modelo reportado en el artículo 5 y que se denomina *Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits*. Este modelo integra cinco variables latentes, las cuales a su vez son medidas a través de variables observadas denominadas ítems. Las variables latentes y sus ítems se listan a continuación (ver el cuestionario final en el Apéndice A, donde se pueden observar las 35 herramientas de LM y los tres tipos de sustentabilidad analizada).

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

- TPM1. Nos aseguramos de que las máquinas estén siempre en un alto estado de preparación para la producción.
- TPM2. Dedicamos inspecciones periódicas para mantener las máquinas en funcionamiento.
- TPM3. Disponemos de un sistema de sonido de mantenimiento diario para prevenir fallos en las máquinas.
- TPM4. Limpiamos escrupulosamente los espacios de trabajo (incluidas las máquinas y los equipos) para evitar que se produzcan acontecimientos inusuales
- TPM5. Tenemos una hora concreta reservada cada día para las actividades de mantenimiento.
- TPM6. Los operarios reciben formación para mantener las máquinas en funcionamiento.
- TPM7. Destacamos el excelente sistema de mantenimiento como estrategia para lograr el cumplimiento de la calidad.

Cambios Rápidos (QS)

- SMED1. Los cambios entre modelos o el tiempo de preparación son pequeños.
- SMED2. La empresa puede manejar la producción de lotes pequeños.
- SMED3. Algunos grupos de trabajo buscan hacer más eficientes los cambios de modelo y reducir los tiempos de preparación.
- SMED4. Las máquinas y herramientas facilitan los cambios rápidos.
- SMED5. Se dispone de las herramientas adecuadas para cada cambio de modelo.
- SMED6. Se implementa la herramienta SMED para ayudar a los cambios rápidos.
- SMED7. El procedimiento para los cambios de modelo está estandarizado.

Overall equipment effectiveness (OEE)

- OEE1. ¿Es el departamento de producción altamente productivo?
- OEE2. ¿Conoce el porcentaje de productividad de cada área de producción?
- OEE3. ¿Se cumple el objetivo de producción en el tiempo estipulado y tiene siempre la calidad requerida?
- OEE4. ¿No hay residuos en el proceso de producción?
- OEE5. ¿No hay paradas significativas en el proceso de producción?

Flujo de una sola pieza (OPF)

- FUP1. ¿Se utiliza el sistema Kanban para autorizar la producción?
- FUP2. ¿La producción en un puesto de trabajo concreto se basa en la demanda actual de su puesto de trabajo posterior?
- FUP3. ¿Se fabrica un lote de producción sólo si tiene la orden de compra del cliente?
- FUP4. ¿Se fabrica sólo la cantidad específica solicitada por el cliente?
- FUP5. ¿Las estaciones de trabajo hacen un buen uso del sistema pull?
- FUP6. La inversión en inventario muestra una tendencia decreciente a lo largo del tiempo.
- FUP7. Los plazos de producción, así como los tiempos de preparación, se reducen/acortan con el tiempo.

Sustentabilidad económica (ECS)

- ECS1. Reducción de los costes de producción
- ECS2. Reducción de costos por garantías
- ECS3. Reducción de los costes de desarrollo de productos
- ECS4. Disminución de los costes de energía
- ECS5. Reducción de los costes de inventario
- ECS6. Reducción de los costes de los rechazos y retrabajos
- ECS7. Disminución de los costes de las materias primas
- ECS8. Disminución de los costes de tratamiento de residuos
- ECS9. Reducción de las sanciones administrativas por percances medioambientales

2.6.2 Formulación de hipótesis

Para la formulación de las hipótesis, se asume que la variable TPM es la variable independiente y que la ECS es la variable dependiente o de respuesta, teniendo como variables mediadoras a QS, OEE y OPF. Se han formulado siete hipótesis que relacionan las cinco variables, por lo que se procede a dar sustento teórico a las mismas en base a una revisión bibliográfica. Por ejemplo, para la relación entre TPM y QS en H₁, se indica que las máquinas con mal mantenimiento trabajan a baja velocidad (Singh et al. 2013), lo que genera cuellos de botella, incrementa el tiempo de producción, disminuye la calidad y se dificulta realizar cambios rápidos. Además, al aplicar TPM se optimiza la eficacia de los

equipos, se disminuyen las averías y promueve la autonomía del sistema productivo (Hooi and Leong 2017).

Asimismo, lo mejor de TPM es que obliga a llevar una planeación de las reparaciones, lo que genera planes de acción que buscan reducir el tiempo en que los equipos no están operativos (Roosefert Mohan et al. 2021). Si se aplica TPM a las máquinas, éstas estarán limpias, se tendrá un sistema de avisos cuando éstas fallan, las revisiones serán periódicas por parte de los operadores y eso facilitará el llevar a cabo QS, ya que no se requiere realizar búsquedas de materiales, revisar bitácoras de mantenimiento, entre otras (Suryaprakash et al. 2020). Lo anterior permite proponer la hipótesis H_1 que establece que TPM tiene un efecto directo y positivo en QS.

Para la relación de TPM con OEE en H_2 , es importante mencionar que en TPM el rendimiento de un sistema productivo se mide con el índice OEE, ya que integra la tasa de rendimiento, la disponibilidad y la tasa de calidad, que son medidas de las pérdidas de los equipos (Chikwendu et al. 2020). Realizando actividades de mantenimiento preventivo tales como la limpieza, lubricación y ajustes, realizando pequeñas operaciones de mantenimiento y controlando la calidad y el rendimiento, los niveles de OEE aumentan drásticamente en cortos periodos de tiempo y, de este modo, aumentan la eficiencia y la productividad, y disminuyen los defectos (Chiarini 2013). Lo anterior permite proponer la hipótesis de que TPM tiene un efecto directo y positivo sobre OEE al incrementar la disponibilidad de las máquinas.

Para la relación de QS con OEE en H_3 , recuérdese que este último integra en su cálculo la disponibilidad de los máquinas y equipos, por lo que se requiere que los tiempos muertos debido a cambios de productos sean rápidos (Junior et al. 2022) y eso puede ser resuelto mediante la aplicación de QS, aunque puede haber muchos otros factores. Para Haddad et al. (2021), el contar con máquinas y un espacio limpio facilita los cambios rápidos e incrementa los niveles de disponibilidad de éstas al disminuir los tiempos muertos, por lo que a su vez se incrementan los niveles de OEE, lo que permite proponer la hipótesis de que QS tiene un impacto directo y positivo en OEE.

Para la relación entre OEE y OPF en H_4 , fabricar con una disciplina de OPF permite tiempos de producción cortos, una respuesta rápida a los requisitos cambiantes del mercado, niveles adecuados de inventario en proceso (WIP) y disminuye los tiempos de inactividad (Harris 2019), lo que se convierte en un incremento de la productividad y una reducción en el desperdicio (Ioana et al. 2020), ya que hombres y máquinas están activas. Sin embargo, la implementación de OEE implica eliminar seis pérdidas asociadas a averías, inactividad, preparación, velocidad, rendimiento y por rechazo durante la fabricación (Singh et al. 2021); es decir, OEE refleja la efectividad de un proceso fabricando piezas de calidad en el tiempo planificado y en la cantidad adecuada, lo que implica la velocidad del proceso productivo (Acevedo Robles 2020), lo que se asocia con OPF y por ende, se propone la hipótesis de que OEE tiene un efecto directo y positivo sobre OPF.

Para la relación entre QS y OPF en H_5 , Purwanto and Jaqin (2021) declaran que para aplicar la filosofía OPF se requiere de gran flexibilidad y agilidad, y QS puede ayudar en

esos dos aspectos; es decir, se debe tener la seguridad de responder con rapidez a los clientes y tener varias alternativas de hacerlo. Además, el flujo de materiales depende mucho de la disponibilidad de las máquinas y herramientas, lo que es analizado en QS. Sin embargo, Sun and Du (2018) indica que deben realizarse simulaciones para conocer los escenarios de los procesos de producción antes de implementar OPF, donde deben incluirse variables asociadas al layout, la disponibilidad de las máquinas o OEE, entre otras. Lo anterior permite proponer la hipótesis de que QS tiene un efecto directo y positivo en OPF.

Para la relación entre OEE y ENS en H₆, García-Alcaraz et al. (2022b) relacionan 8 herramientas de LM con la sustentabilidad industrial de empresas maquiladoras mexicanas, una de ellas es el OEE, mientras que Islam (2019) indica que esta herramienta incrementa la disponibilidad de los equipos y reduce los tiempos muertos. Por su parte, Chikwendu et al. (2020) declaran que la aplicación de OEE mejora la calidad de los productos, reducirá las averías de los equipos, los tiempos de inactividad, los índices de accidentes y el exceso de inventario, así como los desechos y defectos, lo que afecta la economía de la empresa. Lo anterior permite establecer la hipótesis de que OEE tiene un efecto directo y positivo en la ENS.

Finalmente, en la relación de OPF con ENS en H₇, si además de que se tenga alta disponibilidad de las máquinas y equipos en el sistema productivo, éstos son flexibles y pueden adaptarse rápidamente para realizar cambios, de tal manera que solamente se produzca lo que se requiera, entonces se tendrá una mayor cobertura de mercado con más clientes satisfechos (Ojstersek and Buchmeister 2020). Igualmente, si se alcanza el OPF, entonces eso indica que la alta flexibilidad del sistema productivo permite generar lotes de producción más pequeños o incluso, más personalizados y con atención a clientes especiales, tal como lo indica Ioana et al. (2020) en la industria automotriz.

Es decir, la aplicación de OPF permite atender más clientes, mejorar la satisfacción de éste, incrementar las ventas totales y los ingresos de las compañías, por lo que se propone la hipótesis de que OPF tiene un efecto directo y positivo sobre ENS. Las hipótesis que integran el modelo y las referencias las soportan se ilustran en la Figura 2.1.

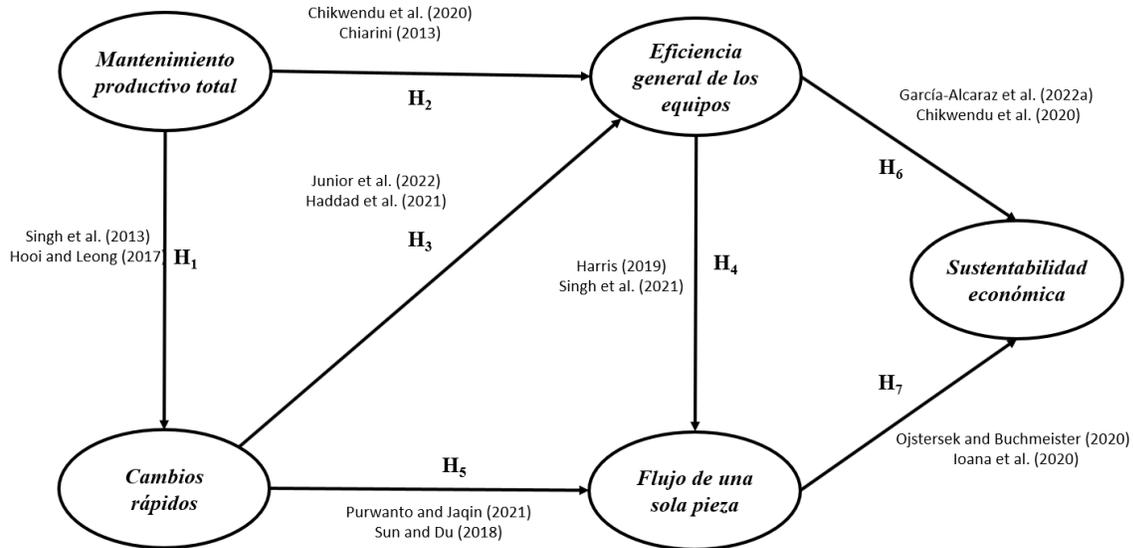


Figura 2.1 Ejemplo del modelo propuesto - Artículo 5

2.6.3 Validación del modelo

Para cada uno de los modelos, aun cuando ya se ha pasado por un proceso de validación de las variables latentes en lo particular, se realiza un proceso de validación de los mismos en lo general, antes de que éstos sean interpretados de acuerdo a los índices sugeridos por Kock (2019b). Esos índices son llamados de eficiencia y calidad del modelo, mismos que se interpretan con un 95% de confianza y son los siguientes:

- Coeficiente promedio de trayectoria (APC) se obtiene de promediar los coeficientes de trayectoria en cada una de las hipótesis e indica una significancia promedio general del modelo, al cual se le asocia un p-valor que debe ser menor o igual a 0.05.
- R-cuadrado promedio (ARS) y R-cuadrado promedio ajustado (AARS) miden la validez predictiva del modelo en las variables dependientes y es una medida de la varianza explicada por las variables independientes que la explican. A estos índices se les asocia un p-valor que debe ser menor o igual a 0.05 para declararlo significativo.
- VIF medio de bloque (AVIF) y el VIF promedio de colinealidad completa (AFVIF) que miden la colinealidad promedio del modelo y se desean preferentemente valores menores a 3.3, aunque es posible aceptar valores menores a 5.
- El GoF de Tenenhaus (GoF) se usa para medir el ajuste que tienen los datos obtenidos de los encuestados al modelo y se desea que tenga un valor mayor o igual a 0.36.

Si el modelo evaluado cumple con los índices anteriores se procede a su interpretación, de lo contrario se realizan evaluaciones iterativas en las variables para

realizar ajustes en el modelo. En los modelos analizados se reportan 3 tipos de efectos entre las variables, mismos que se detallan a continuación.

2.6.4 Efectos directos

Dado que los SEM integran muchas relaciones entre variables, para cada una de estas se obtiene un valor β estandarizado por medio de la técnica de mínimos cuadrados parciales (PLS), mismo que mide el efecto que tiene una variable independiente sobre una variable dependiente (expresado en desviaciones estandar). A cada parámetro β se le asocia un p-valor que permite realizar una prueba de hipótesis con un 95% de confianza (Kock 2019b).

Para probar la significancia estadística de los parámetros, se prueba la hipótesis nula $H_0: \beta=0$, versus la hipótesis alternativa $H_1: \beta \neq 0$. Si se obtiene un p-valor asociado menor a 0.05 se concluye que el valor de ese parámetro es diferente a cero y por lo tanto, existe una relación entre la variable independiente y dependiente analizadas. Por el contrario, si el p-valor asociado es mayor a 0.05, se demuestra que ese parámetro es igual a cero y se concluye que no existe una relación entre las dos variables analizadas (Farooq et al. 2018).

2.6.5 Efectos indirectos

Dado que en los modelos de ecuaciones estructurales se construyen redes con relaciones entre las variables analizadas, entonces es posible que una variable independiente tenga un efecto en una variable dependiente a través de una tercera que se denomina mediadora. Es decir, habrá un efecto directo entre la variable independiente y la variable mediadora, y otro efecto directo entre la variable mediadora y la variable dependiente, por lo que se requiere de dos segmentos (Boch et al. 2018). A este tipo de efecto se le llama efecto indirecto.

Es posible que una variable dependiente tenga varios efectos indirectos, los cuales pueden ser a través de dos o más segmentos. En este caso, solamente se reporta la suma de los efectos indirectos que existen entre las variables independientes y dependientes y al igual que en el caso de los efectos directos, se calculan valores de β y se realizan pruebas estadísticas al 95% de confianza, concluyendo de la misma manera. El análisis de este tipo de efectos es importante, ya que muchas veces los efectos directos resultan ser estadísticamente no significativos, pero cuando se integra una variable mediadora la relación se vuelve estadísticamente significativa, lo que indica la importancia que tiene esa variable mediadora en la relación entre la variable independiente y dependiente.

2.6.6 Efectos totales

En los modelos de ecuaciones estructurales es posible conocer un efecto total, el cual es obtenido de la suma aritmética de los efectos directos y la suma de los efectos indirectos. A estos efectos también se les asocia un valor estandarizado β con su respectivo p-valor para conocer la significancia estadística de éstos. Finalmente, es importante mencionar que si no existen variables mediadoras entre una variable independiente y una variable dependiente, entonces el efecto directo y el efecto total son iguales.

2.6.7 Los tamaños de los efectos

Como se ha mencionado anteriormente, en los modelos de ecuaciones estructurales existen variables que juegan un rol de dependiente, a las cuales se les asocia un valor de R^2 como una medida de la varianza explicada en ésta por las variables independientes. Sin embargo, muchas variables independientes pueden tener un efecto en la variable dependiente, por lo que para cada efecto (directo, indirecto y total), se reporta el tamaño del efecto (ES), qué representa la varianza que explica cada una de las variables independientes de manera individual. Así, la suma de todos los tamaños de los efectos debe ser igual al valor de R^2 en la variable dependiente. En esta tesis, a cada uno de los efectos se le asocia un ES, lo que permite identificar cuál es la variable independiente más importante o que más influye en la variable dependiente.

En este caso específico y con la finalidad de ilustrar el modelo en el artículo 5 evaluado que se ha usado como ejemplo, en la Figura 2.2 se ilustran los resultados obtenidos y sus parámetros, donde se aprecian los valores de β para cada una de las relaciones entre variables, el p-valor asociado y el valor de R^2 para las variables dependientes.

2.6.8 Análisis de sensibilidad

Una de las ventajas de usar el software WarpPLS v.8[®] 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 asociadas a diferentes niveles de implementación. 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 [$P(Z<-1)$].

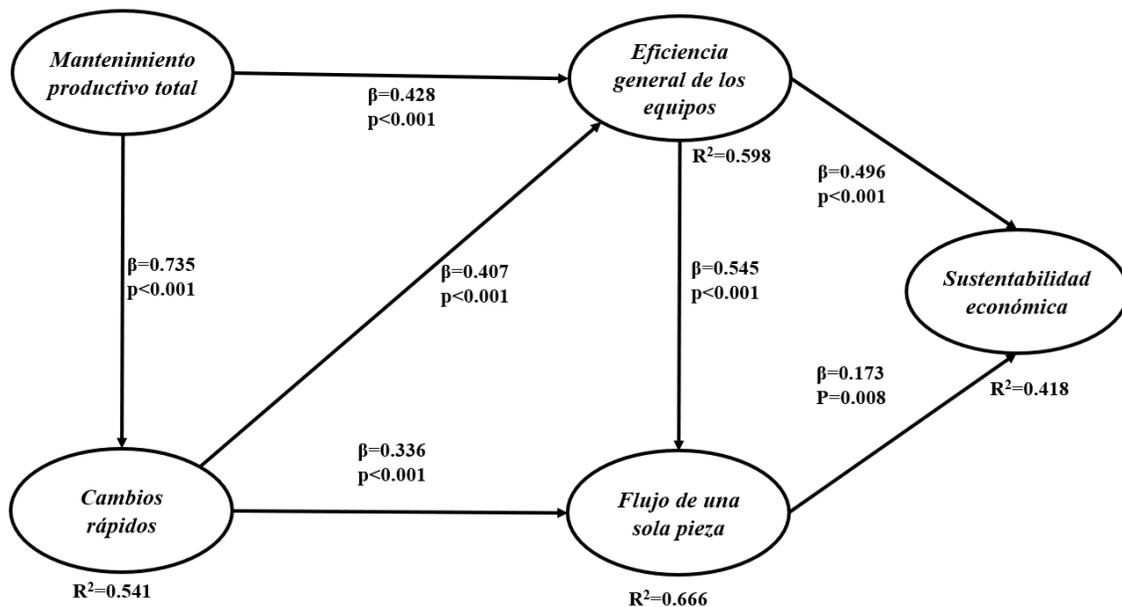


Figura 2.2 Modelo evaluado – Artículo 5

En esta investigación se reportan las siguientes probabilidades:

- Probabilidad de que las variables ocurran de manera independiente o aislada en sus niveles bajos o altos; es decir, $P(Z>1)$ y $P(Z<-1)$.
- La probabilidad de que las variables ocurran de manera conjunta en cualquier combinación de valores, altos y bajos. Es decir, se reporta $P(Z_i>1) \cap P(Z_d>1)$, $P(Z_i>1) \cap P(Z_d<-1)$, $P(Z_i<-1) \cap P(Z_d>1)$ y $P(Z_i<-1) \cap P(Z_d<-1)$.
- La probabilidad condicional de que ocurra la variables dependiente, dado que ya ha ocurrido la variable independiente en cualcualquier combinación de escenarios. Es decir, $P(Z_d>1)/P(Z_i>1)$, $P(Z_d>1)/P(Z_i<-1)$, $P(Z_d<-1)/P(Z_i>1)$ y $P(Z_d<-1)/P(Z_i<-1)$.

donde Z_i representa una variable independiente y Z_d representa una variable dependiente.

SECCION III. RESULTADOS

3. DESCRIPCION DE ARTÍCULOS PUBLICADOS

Como se ha mencionado anteriormente, esta tesis es presentada en la modalidad de compendio científico de artículos publicados en revistas indexadas en el índice del Journal Citation Reports. Después de revisar los contenidos de los mismos, se considera que las áreas temáticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) son los siguientes:

- 531208 Fabricación
- 331003 Procesos industriales
- 331001 Equipo industrial
- 331006 Especificaciones de procesos
- 120306 Sistemas automatizados control de calidad
- 331004 Ingeniería de mantenimiento
- 630704 Seguridad social
- 631011 Bienestar social
- 330802 Residuos industriales
- 330804 Ingeniería de la contaminación
- 520201 Indicadores económicos
- 530902 Integración económica

3.1 Artículo 1. Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras

La cita referencial de ese artículo es la siguiente: García-Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz-Reza JR, Jiménez Macías E, Javierre Lardies C, Blanco Fernández J (2022) Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras. Environmental Science and Pollution Research 29 (26):39622-39637. doi:10.1007/s11356-022-18978-6. Factor de impacto 5.190, Categoría ENVIRONMENTAL SCIENCES – SCIE Q2, 87/279).

La Figura 3.1 ilustra el factor de impacto de la revista Environmental Science and Pollution Research para el año 2021 y la tendencia que ha tenido en los últimos cinco años. La revista está clasificada en la categoría Environmental Sciences, ocupando la posición 87 de 279 y de acuerdo con la clasificación por cuartiles, es Q2.

3.1.1 Las variables en el modelo – Artículo 1

Este modelo se evalúa con información del cuestionario 1 que se denomina LM-Sustentabilidad y que aparece en el Apéndice A. Este artículo presenta un modelo de ecuaciones estructurales de segundo orden en el que se relacionan de manera integral 8 herramientas de manufactura esbelta integradas en tres variables latentes:

- Mejoramiento continuo (CI: Kaizen y Gemba).
- Herramientas de soporte (ST: Andon, Administración visual y Poka-yoke).

- Maquinaria y equipo (M&E: Mantenimiento productivo total-TPM, Eficiencia general de los equipos – OEE y Jidoka).
- Sustentabilidad social (SS).
- Sustentabilidad económica (ES).
- Sustentabilidad ambiental (EnS).



Figura 3.1 Factor de impacto de Environmental Science and Pollution Research

En el modelo se integran un total de ocho hipótesis que relacionan las variables. En este caso, se asume que el mejoramiento continuo es la política base que integra a Kaizen y Gemba, por lo que representan a la variable independiente inicial, mismas que impactan a un conjunto de herramientas que se denominan de soporte y también a la maquinaria y equipo de que disponga la empresa. Por otro lado, la variable dependiente es la Sustentabilidad económica de las empresas, la cual depende de la Sustentabilidad social y Sustentabilidad ambiental que se tenga.

3.1.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 1

La Figura 3.2 ilustra el modelo de ecuaciones estructurales propuesto, donde el sentido de las flechas indica la dependencia de las relaciones entre variables, hipótesis y algunas de las referencias que dan susteno a las mismas. El modelo se valida con información proveniente de 249 respuestas válidas obtenidas de la industria maquiladora mexicana, para lo cual se hace uso de la técnica de mínimos cuadrados parciales.

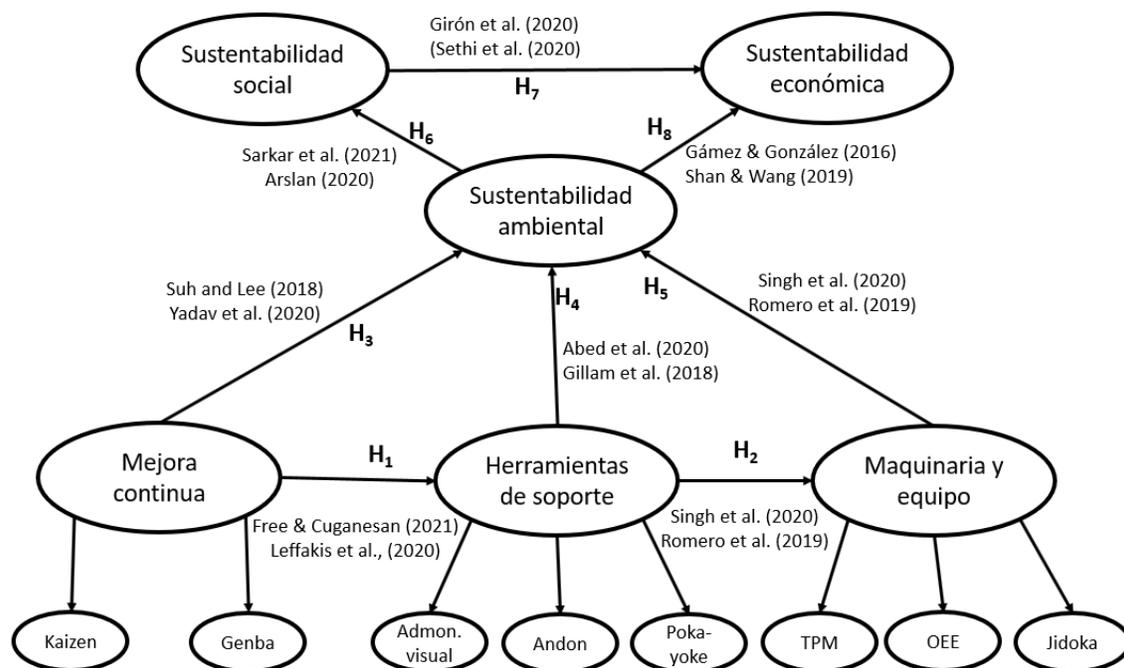


Figura 3.2 Modelo propuesto -Artículo 1

Al evaluar el modelo de acuerdo a la metodología descrita, se obtienen los efectos directos, suma de efectos indirecto y totales en cada una de las relaciones establecidas y la Figura 3.3 ilustra el modelo evaluado.

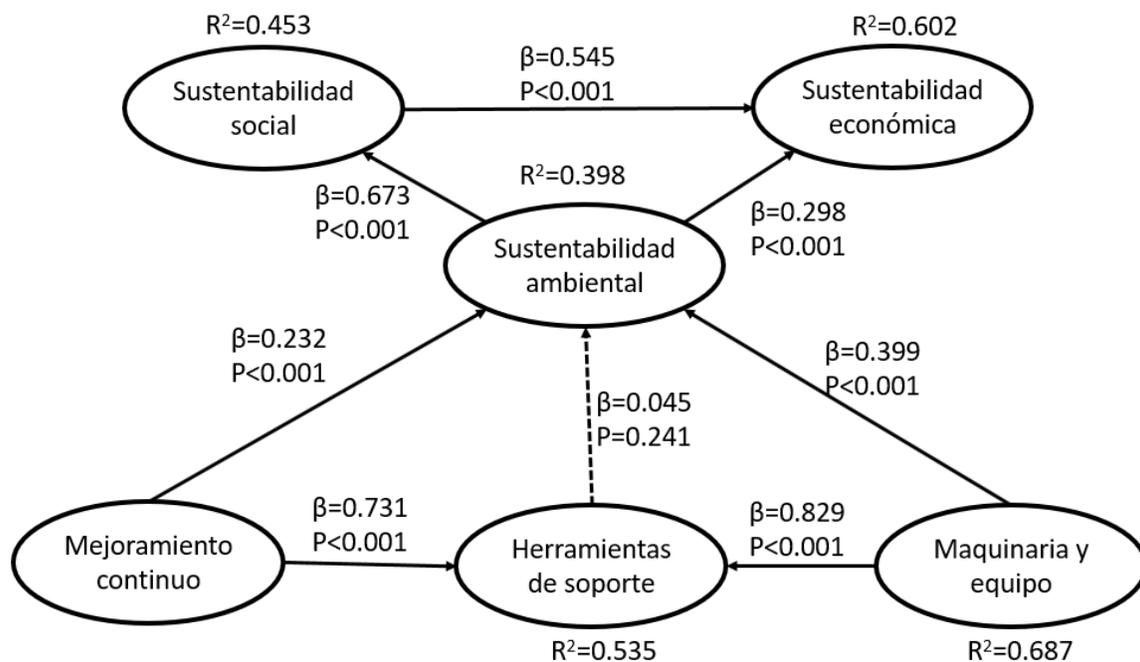


Figura 3.3 Modelo evaluado – Artículo 1

3.1.3 Los efectos directos, indirectos y totales – Artículo 1

Los resultados indican que 7 de las 8 hipótesis fueron estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%, mientras que una no lo fue (ilustrada con una línea punteada en la Figura 3.3). La Tabla 3.1 indica los efectos directos, el p-valor asociado, el tamaño del efecto y las conclusiones en relación a las hipótesis del modelo evaluado.

Tabla 3.1 Efectos directos - Artículo 1

H _i	Relación	β (p-valor)	ES	Conclusión
H ₁	CI→ST	0.731 (P<0.001)	0.535	Aceptar
H ₂	ST→ M&E	0.829 (P<0.001)	0.687	Aceptar
H ₃	CI→ES	0.232 (P<0.001)	0.130	Aceptar
H ₄	ST→ES	0.045 (P=0.246)	0.025	No aceptar
H ₅	M&E→ES	0.399 (P<0.001)	0.243	Aceptar
H ₆	ES→SS	0.673 (P<0.001)	0.453	Aceptar
H ₇	SS→EnS	0.545 (P<0.001)	0.405	Aceptar
H ₈	ES→EnS	0.298 (P<0.001)	0.197	Aceptar

En este modelo, la relación más fuerte se encuentra entre la variable Herramientas de soporte y Maquinaria y equipo, lo cual indica que la aplicación de herramientas como la Administración visual, Andon y Poka-yoke facilitan la aplicación de otras en el sistema productivo, tales como TPM, OEE y Jidoka. La segunda relación más alta es entre las variables Mejoramiento continuo y Herramientas de soporte, lo que indica que la aplicación de Kaizen y Gemba en las líneas de producción facilitan la Administración visual, Andon y Poka-yoke.

La relación que fue estadísticamente no significativa fue entre las variables de Herramientas de soporte y Sustentabilidad ambiental. Esos resultados indican que en opinión de los encuestados, la aplicación de Andon, Poka-yoke y Administración visual no ayudan a disminuir el impacto ambiental de los procesos industriales de manera directa. Sin embargo, este tema debe investigarse más, ya que las Herramientas de soporte ayudan a evitar que se cometan errores humanos, se continúe la producción de productos defectuosos que después requieren reprocesarse o que se conviertan en desperdicio. En este caso, es importante analizar los efectos indirectos.

La Tabla 3.2 ilustra la suma de efectos indirectos y totales, donde se indica el valor del efecto, el p-valor asociado a ese parámetro y el tamaño del efecto. Se observa que el efecto indirecto más grande es el que relaciona la variable Mejoramiento continuo con Maquinaria y equipo, lo cual se hace a través de la variable mediadora de Herramientas de soporte. Lo anterior indica que realizar caminatas en las líneas de producción siempre ayuda a observar las deficiencias y áreas de oportunidad en las máquinas usadas en los procesos de transformación.

Aquí es importante observar que el efecto indirecto entre las Herramientas de soporte y la Sustentabilidad ambiental es de 0.250 y es estadísticamente significativo, aun cuando

el efecto directo no lo fue. En relación a los efectos totales, el mayor de todos ocurre entre las variables Herramientas de soporte y la Maquinaria y equipo, el cual casualmente no tiene un efecto indirecto. Lo mismo sucede en la relación entre el Mejoramiento continuo y las Herramientas de soporte, las cuales tienen en segundo efecto más grande.

Tabla 3.2 Suma de efectos indirectos y totales - Artículo 1

Suma de efectos indirectos					
	SS	ES	CI	ST	M&E
EnS		0.367 (P<0.001) ES=0.243	0.337 (P<0.001) ES=0.206	0.250 (P<0.001) ES=0.161	0.265 (P<0.001) ES=0.182
SS			0.341 (P<0.001) ES=0.206	0.253 (P<0.001) ES=0.163	0.269 (P<0.001) ES=0.192
ES			0.275 (P<0.001) ES=0.154	0.331 (P<0.001) ES=0.181	
M&E			0.606 (P<0.001) ES=0.434		
Efectos totales					
EnS	0.545 (P<0.001) ES=0.405	0.665 (P<0.001) ES=0.440	0.337 (P<0.001) ES=0.206	0.250 (P<0.001) ES=0.161	0.265 (P<0.001) ES=0.182
SS		0.673 (P<0.001) ES=0.453	0.341 (P<0.001) ES=0.206	0.253 (P<0.001) ES=0.163	0.269 (P<0.001) ES=0.192
ES			0.507 (P<0.001) ES=0.284	0.376 (P<0.001) ES=0.206	0.399 (P<0.001) ES=0.243
M&E			0.606 (P<0.001) ES=0.434	0.829 (P<0.001) ES=0.687	
ST			0.731 (P<0.001) ES=0.535		

Del análisis de sensibilidad se concluye que es muy importante la implementación de programas enfocados al Mejoramiento continuo, ya que cuando se tienen altos niveles en esas actividades, se garantiza el uso adecuado de la Maquinaria y equipo, así como la obtención de la Sustentabilidad económica, Sustentabilidad social y Sustentabilidad ambiental. Sin embargo, niveles bajos de ese Mejoramiento continuo representan un alto riesgo para los responsables del proceso de toma de decisiones en la industria maquiladora Mexicana, ya que favorece la ocurrencia de otras en niveles bajos. Una lista completa de las probabilidades de las variables en sus diferentes escenarios se ilustra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Análisis de sensibilidad - Artículo 1

Nivel		CI+	CI-	ST+	ST-	M&E+	M&E -	ES+	ES-	SS+	SS-
	Probab.	0.180	0.146	0.146	0.176	0.138	0.142	0.159	0.151	0.205	0.159
EnS+	0.151	&=0.079 lf=0.442	&=0.000 lf=0.000	&=0.075 lf=0.514	&=0.000 lf=0.000	&=0.075 lf=0.545	&=0.000 lf=0.000	&=0.084 lf=0.526	&=0.004 lf=0.028	&=0.088 lf=0.429	&=0.000 lf=0.000

EnS-	0.138	&=0.000 lf=0.000	&=0.059 lf=0.400	&=0.000 lf=0.000	&=0.079 lf=0.452	&=0.000 lf=0.000	&=0.071 lf=0.500	&=0.004 lf=0.026	&=0.075 lf=0.500	&=0.000 lf=0.000	&=0.084 lf=0.526
SS+	0.205	&=0.063 lf=0.349	&=0.013 lf=0.086	&=0.079 lf=0.543	&=0.008 lf=0.048	&=0.075 lf=0.545	&=0.000 lf=0.000	&=0.084 lf=0.526	&=0.008 lf=0.056		
SS-	0.159	&=0.000 lf=0.000	&=0.075 lf=0.514	&=0.000 lf=0.00	&=0.100 lf=0.571	&=0.000 lf=0.000	&=0.084 lf=0.588	&=0.000 lf=0.000	&=0.092 lf=0.611		
ES+	0.159	&=0.075 lf=0.419	&=0.013 lf=0.086	&=0.059 lf=0.400	&=0.004 lf=0.024	&=0.050 lf=0.364	&=0.004 lf=0.029				
ES-	0.151	&=0.004 lf=0.023	&=0.071 lf=0.486	&=0.000 lf=0.000	&=0.071 lf=0.405	&=0.000 lf=0.000	&=0.079 lf=0.559				
M&E+	0.138	&=0.084 lf=0.465	&=0.000 lf=0.000	&=0.096 lf=0.657	&=0.000 lf=0.000						
M&E-	0.142	&=0.000 lf=0.000	&=0.079 lf=0.543	&=0.000 lf=0.000	&=0.096 lf=0.548						
ST+	0.146	&=0.088 lf=0.488	&=0.004 lf=0.029								
ST-	0.176	&=0.004 lf=0.029	&=0.092 lf=0.629								

3.1.4 Conclusiones – Artículo 1

Las relaciones entre las variables que integran el modelo de ecuaciones estructurales que se presenta en el modelo del artículo 1 permiten concluir lo siguiente:

1. La implementación de Kaizen y Gemba en las líneas de producción fomenta la Sustentabilidad de ambiental de manera directa, ya que permite identificar áreas de oportunidad a mejorar, evitando la repetición de errores. Específicamente, Gemba es fundamental, ya que permite ver los problemas en piso, donde se cometen.
2. La implementación de Herramientas de soporte a los sistemas productivos, tales como Poka-yoke, Gestión visual y Andon, fomentan el cuidado de las máquinas y herramientas, ya que advierten cuando éstas se encuentran en mal estado o descalibradas. Esas Herramientas de soporte no tienen un efecto directo sobre la Sustentabilidad ambiental, sino que se da a través de la variable de Maquinaria y equipo.
3. Al comparar los efectos de la variable de Mejoramiento continuo y Maquinaria y equipo sobre la Sustentabilidad ambiental, se observa que el de la segunda es mayor, por lo que los gerentes deben poner especial atención a esta.
4. La Sustentabilidad social tiene un mayor efecto sobre la Sustentabilidad económica en comparación con la Sustentabilidad ambiental, lo que indica que los gerentes deben enfocarse en otorgar seguridad e higiene para los trabajadores, integrarlos en el proceso de toma de decisiones y fomentar el sentido de pertenencia. Lo anterior se demuestra al observar que la Sustentabilidad ambiental tiene también un mayor efecto sobre la Sustentabilidad social en comparación con la Sustentabilidad económica.
5. El Mantenimiento productivo total facilita la automatización de los procesos productivos, fomentando la Sustentabilidad social de los trabajadores al evitar

accidentes al maniobrar máquinas, pero también a la Sustentabilidad ambiental al evitar los desperdicios.

6. La automatización de los procesos productivos a través de Jidoka incrementa el Índice de eficiencia general de las máquinas y herramientas, ya que aumenta los niveles de disponibilidad de las mismas.

3.2 Artículo 2. Effect of the Sustainable Supply Chain on Business Performance— The Maquiladora Experience

La referencia a ese artículo es de la siguiente manera: García-Alcaraz JL, Reza RD, Macías EJ, Vidal RPI, Montalvo FJF, Ledesma AST (2022) Effect of the Sustainable Supply Chain on Business Performance— The Maquiladora Experience. IEEE Access 10:40829-40842. doi:10.1109/ACCESS.2022.3166193 (factor de impacto 3.476, categorías TELECOMMUNICATIONS – SCIE Q2 79/164, COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS – SCIE Q2 105/276, ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC – SCIE Q2 43/93).

La Figura 3.4 ilustra el factor de impacto de la revista IEEE Access para el año en que fue publicado el artículo y la tendencia de ésta en los últimos cinco años. La revista está clasificada en tres categorías, tales como COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS ocupando la posición 79 de 164 y siendo Q2, ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC ocupando la posición 105 de 276 y siendo Q2, y TELECOMMUNICATIONS ocupando la posición 43 de 93 y clasificándose Q2.

Este artículo difiere de otros, ya que se integra actividades llevadas a cabo fuera del proceso productivo; sin embargo, existen herramientas de LM que se refieren al manejo de materiales y por ello, muchas veces la cadena de suministro es también investigada con un enfoque de LM, ya que la proveeduría y distribución son parte de este.

3.2.1 Las variables en el modelo – Artículo 2

La información usada en este modelo proviene del cuestionario 2 al que se denomina cadena de suministro sustentable. En el artículo se reporta un modelo que integra dos modelos previamente reportados, uno por Ni and Sun (2019) que integra las variables:

- Sustentabilidad de entrada (InS) que indica actividades asociados a la proveeduría a través de las materias primas.
- Sustentabilidad interna (IS) que se refiere a las actividades del proceso productivo y de los cuales la empresa tiene el control.
- Sustentabilidad de salida (OS) que se refiere a actividades de distribución de productos terminados.
- Integración de proveedores (SI).
- Integración de clientes (CI).

El segundo componente del modelo fue reportado por Sarkar et al. (2021) e integra la variables relacionadas con el:

- Desempeño ambiental (EP).
- Desempeño social (SB).

- Desempeño del negocio (BP).

Sin embargo, en este artículo se entiende al desempeño como una medida de los diferentes tipos de Sustentabilidad, ya que los ítems que las componen son los mismos. Así el modelo presenta ocho variables, las cuales se relacionan a través de diez hipótesis, tal como se ilustra en la Figura 3.5.

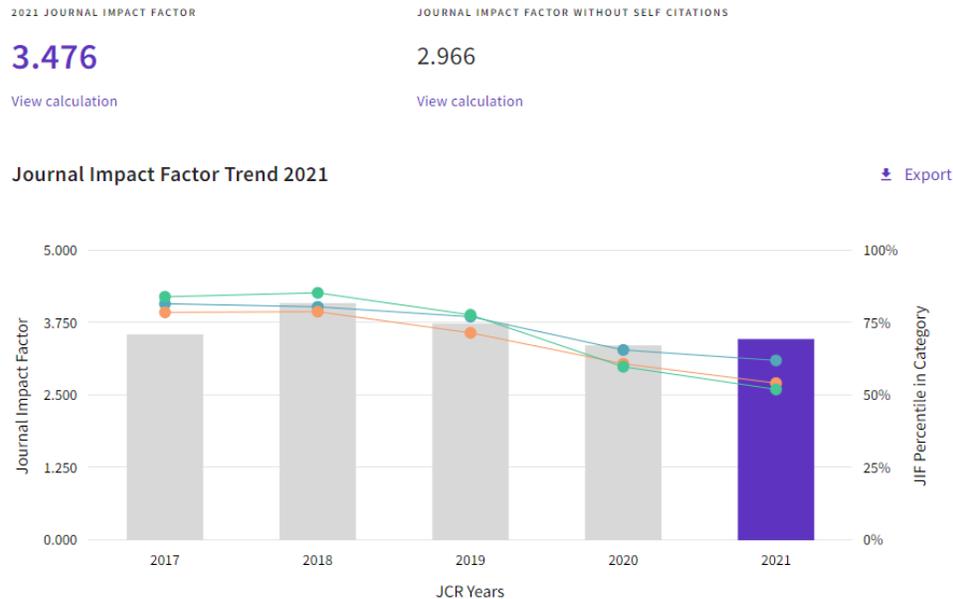


Figura 3.4 Factor de impacto de IEEE Access

3.2.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 2

El modelo en el artículo 2 integra a ocho variables, las cuales se relacionan a través de diez hipótesis, tal como se ilustra en la Figura 3.5. En este caso, el modelo de Ni and Sun (2019) se ilustra en el recuadro azul de la parte inferior, mientras que el modelo de Sarkar et al. (2021) se ilustra en el recuadro rojo en la parte superior. Asimismo, se integran algunas referencias que dan soporte a las hipótesis propuestas.

Al evaluar el modelo de acuerdo con la metodología descrita anteriormente, se obtienen los resultados que se le ilustran en la Figura 3.6, donde se indican los valores de β , el p valor asociado para la prueba de hipótesis y los valores de R^2 para las variables dependientes. Obsérvese que en el modelo evaluado existen unas relaciones entre variables que se representan con líneas de color rojo, lo que indica que no fueron estadísticamente significativas.

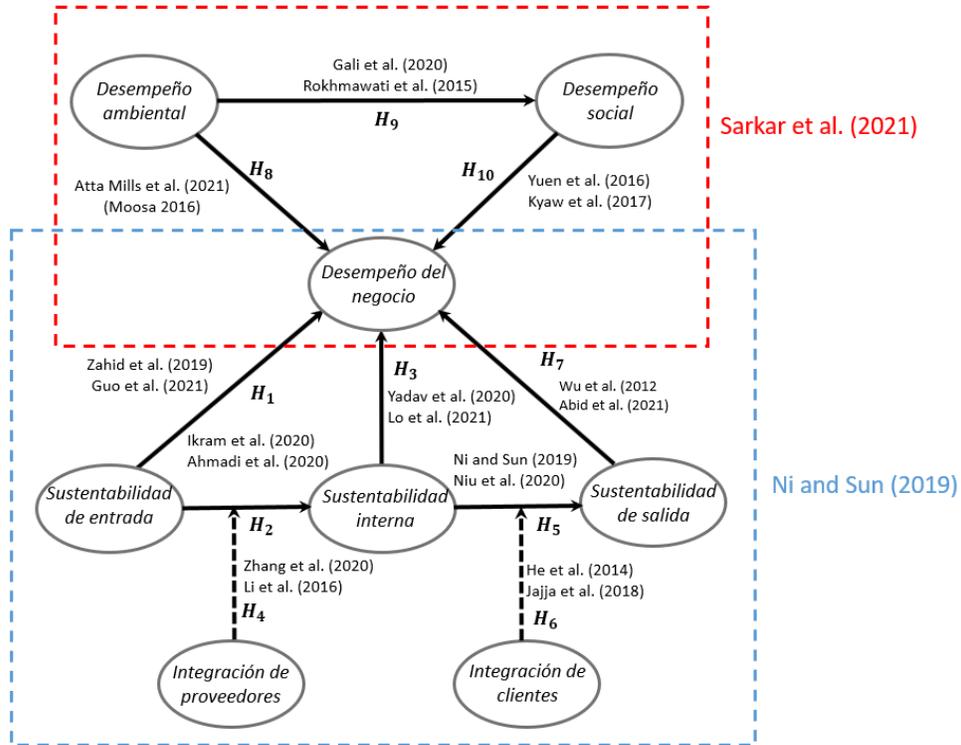


Figura 3.5 Modelo propuesto - Artículo 2

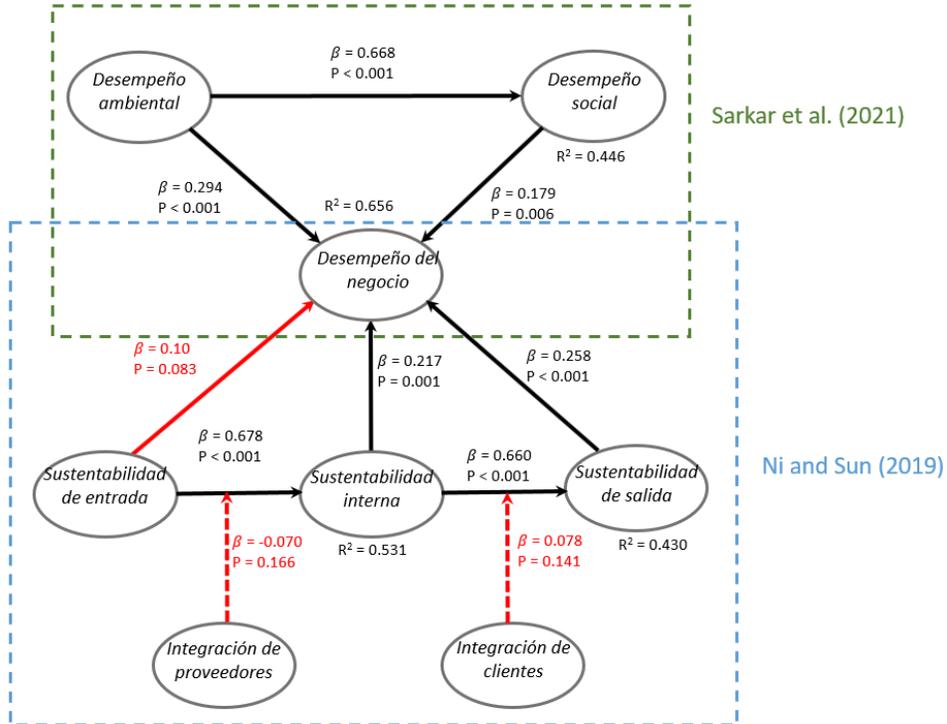


Figura 3.6 Modelo evaluado - Artículo 2

3.2.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales - artículo 2

Los resultados directos de este modelo se indican en la Tabla 3.4 e indican que en la industria maquiladora Mexicana la Integración de los proveedores y la Integración de los clientes no es estadísticamente significativa y ello se debe a la naturaleza de este tipo de empresas, ya que desde las oficinas matrices establecidas en otros países se les proporcionan las materias primas y ellos mismos son los clientes. Otra relación que resultó ser estadísticamente no significativa fue la de Sustentabilidad de entrada con el Desempeño del negocio, ya que como se ha mencionado anteriormente, las empresas maquiladoras son parte de un negocio central.

Así pues, tres de las diez hipótesis fueron estadísticamente no significativas, pero siete si lo fueron. Las relaciones más altas se encuentran entre las variables Sustentabilidad de entrada con Sustentabilidad interna, así como entre el Desempeño ambiental y el Desempeño social, y la Sustentabilidad interna y la Sustentabilidad de salida. Esos resultados indican que el desempeño del proceso productivo depende de los materiales que ingresen al mismo, pero que la satisfacción del cliente depende del apego a las especificaciones técnicas que se realicen.

Tabla 3.4 Efectos directos - Artículo 2

H_i	VI	VD	ES	Conclusión	β^a (p-valor)	β^b (p-valor)
H_1	IS	BP	0.053	No aceptar	0.10 (P=0.083)	0.016
H_2	IS	InS	0.493	Aceptar	0.678 (P<0.001)	0.434
H_3	InS	BP	0.138	Aceptar	0.217 (P<0.001)	0.243
H_4	SI	InS	0.038	No aceptar	-0.070 (P=0.166)	0.152*
H_5	InS	OS	0.458	Aceptar	0.660 (P<0.001)	0.393
H_6	CI	OS	-0.028	No aceptar	0.078 (P=0.141)	0.131*
H_7	OS	BP	0.161	Aceptar	0.258 (P<0.001)	0.390
H_8	EP	BP	0.192	Aceptar	0.294(P<0.001)	0.799*
H_9	EP	SP	0.446	Aceptar	0.668(P<0.001)	0.579
H_{10}	SP	BP	0.112	Aceptar	0.179 (P=0.006)	0.353

β^a en nuestro modelo

β^b en el modelo de Ni and Sun (2019) y Sarkar et al. (2021)

* Indica diferencias

VI es la variable independiente

VD es la variable dependiente

Dado que los efectos moderadores de la integración de los proveedores y los clientes, así como la relación de la Sustentabilidad de entrada y el Desempeño del negocio no son estadísticamente significativos, pareciera indicar que la Sustentabilidad de entrada no es importante. Sin embargo, al analizar los efectos indirectos, se observa que esa variable ejerce el efecto indirecto más alto en el modelo sobre la Sustentabilidad de salida. Además, se tiene un efecto indirecto en el Desempeño económico, aunque el directo no

sea significativo, lo que indica el rol de las variables mediadoras. La suma de los efectos indirectos y totales se indica en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Suma de efectos indirectos y totales - Artículo 2

Suma de efectos indirectos					
	IS	InS	EP	OS	SP
BP	0.263 (P<0.001) ES=0.140	0.171 (P<0.001) ES=0.109	0.12 (P=0.083) ES=0.078		
OS	0.447 (P<0.001) ES=0.297				
Efectos totales					
BP	0.362 (P<0.001) ES=0.193	0.388 (P<0.001) ES=0.247	0.414 (P<0.001) ES=0.270	0.258 (P<0.001) ES=0.161	0.179 (P=0.006) ES=0.112
OS	0.447 (P<0.001) ES=0.297	0.660 (P<0.001) ES=0.458			
InS	0.678 (P<0.001) ES=0.493				
SP			0.668 (P<0.001) ES=0.446		

Finalmente, es importante mencionar que, de acuerdo con el análisis de sensibilidad, todas las etapas del proceso productivo son importantes para garantizar el Desempeño del negocio, ya que se observó que la Sustentabilidad de entrada, Sustentabilidad interna y Sustentabilidad social tienen probabilidades condicionales altas, lo que indica su alta relación. Sin embargo, una falla en cualquiera de las etapas del proceso productivo también es un riesgo para los gerentes, ya que los puede llevar a niveles bajos de sustentabilidad en cualquiera de sus dimensiones. La Tabla 3.6 ilustra todas las probabilidades para las variables en sus niveles altos y bajos, así como su interacción.

Tabla 3.6 Análisis de sensibilidad - Artículo 2

	Level	Probability	IS		InS		OS		EP		SP	
			+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
BP	+	0.166	&=0.070 lf=0.419	&=0.000 lf=0.000	&=0.064 lf=0.600	&=0.000 lf=0.000	&=0.064 lf=0.414	&=0.005 lf=0.031	&=0.096 lf=0.500	&=0.005 lf=0.0028	&=0.091 lf=0.436	&=0.000 lf=0.000
	-	0.155	&=0.001 lf=0.032	&=0.060 lf=0.440	&=0.00 lf=0.00	&=0.064 lf=0.545	&=0.00 lf=0.00	&=0.064 lf=0.375	&=0.005 lf=0.028	&=0.080 lf=0.556	&=0.005 lf=0.026	&=0.080 lf=0.536
SP	+	0.209	&=0.086 lf=0.516	&=0.000 lf=0.000	&=0.070 lf=0.650	&=0.011 lf=0.091	&=0.091 lf=0.586	&=0.000 lf=0.000	&=0.107 lf=0.556	&=0.000 lf=0.000		
	-	0.150	&=0.000 lf=0.000	&=0.075 lf=0.0560	&=0.005 lf=0.050	&=0.080 lf=0.0682	&=0.005 lf=0.034	&=0.086 lf=0.500	&=0.005 lf=0.028	&=0.102 lf=0.704		
EP	+	0.193	&=0.091 lf=0.548	&=0.000 lf=0.000	&=0.064 lf=0.600	&=0.000 lf=0.000	&=0.080 lf=0.517	&=0.005 lf=0.031				
	-	0.144	&=0.011 lf=0.065	&=0.086 lf=0.640	&=0.000 lf=0.000	&=0.086 lf=0.727	&=0.000 lf=0.000	&=0.091 lf=0.531				
InS	+	0.107	&=0.053 lf=0.230	&=0.000 lf=0.000								
	-	0.118	&=0.000	&=0.080								

			If=0.000	If=0.600								
OS	+	0.155			&=0.070 If=0.650	&=0.005 If=0.045						
	-	0.171			&=0.000 If=0.000	&=0.064 If=0.545						

3.2.4 Conclusiones – Artículo 2

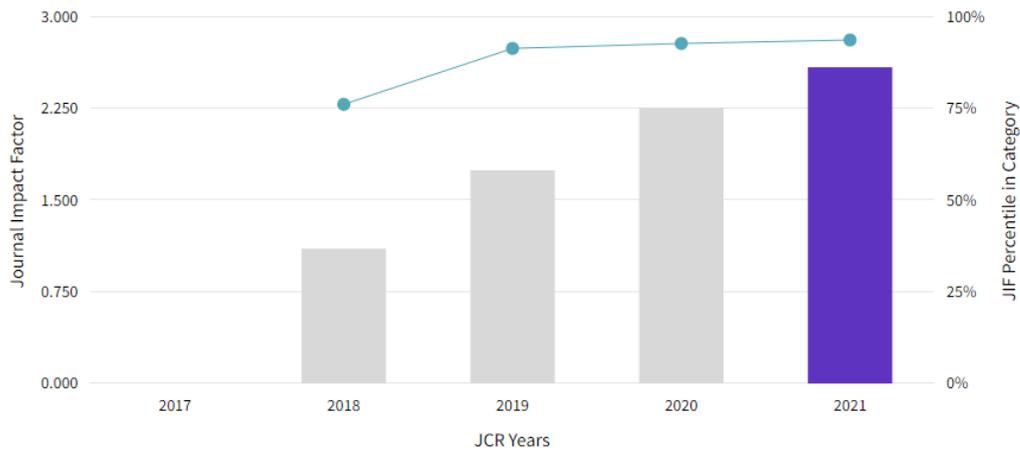
Del análisis de los efectos directos, suma de efectos indirectos y totales del modelo de ecuaciones estructurales presentado en el artículo 2, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

1. La Sustentabilidad de entrada a través de los procesos de proveeduría de materias primas, fomenta la Sustentabilidad interna, y no tiene una relación directa con el Desempeño financiero de la empresa.
2. La Integración de proveedores y clientes en los procesos de sustentabilidad en la IMMEX no es estadísticamente significativo, dada la naturaleza que tiene ese sector industrial, donde la fábrica matriz juega el rol de proveedor y cliente a la vez.
3. La Sustentabilidad de salida tiene un efecto directo mayor en el Desempeño del negocio en comparación con la Sustentabilidad interna, lo que indica que la sustentabilidad no solamente se logra en los procesos productivos, sino también en el proceso de entrega de productos y el servicio al cliente.
4. En el entorno de la industria maquiladora mexicana, el Desempeño ambiental tiene un mayor impacto sobre el Desempeño del negocio, en comparación con el Desempeño social. Este resultado difiere del reportado por otros autores, donde los aspectos sociales resultan ser más importantes que los ambientales.
5. El Desempeño ambiental fomenta el Desempeño social, ya que se evita poner en riesgo a los trabajadores, lo cual puede suceder debido a la presencia de accidentes con sustancias tóxicas, emisiones contaminantes al suelo, aguas y aire.

3.3 Artículo 3. Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience

La referencia a este artículo es la siguiente: García Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz Reza JR, Blanco Fernández J, Jiménez Macías E, Puig i Vidal R (2022b) Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience. *Mathematics* 10 (9):1468. doi:10.3390/math10091468 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333).

La Figura 3.7 ilustra el factor de impacto de la revista *Mathematics* para el año de la publicación y de los últimos cinco años. Esa revista está integrada en la categoría MATHEMATICS ocupando la posición 21 de 333, por lo que es clasificada en el cuartil Q1.

2.592[View calculation](#)**2.206**[View calculation](#)**Journal Impact Factor Trend 2021**[Export](#)**Figura 3.7** Factor de impacto de Mathematics**3.3.1 Las variables en el modelo – Artículo 3**

El modelo presentado en el artículo 3 hace uso de información obtenida a través del cuestionario uno denominado Herramientas de LM-Sustentabilidad. El modelo de ecuaciones estructurales analiza tres herramientas de LM asociadas a las máquinas y herramientas que se usan en los sistemas productivos. Las variables son las siguientes:

- Mantenimiento productivo total (TPM)
- Jidoka (JID)
- Eficiencia general de los equipos (OEE)
- Sustentabilidad económica (EcS)
- Sustentabilidad ambiental (EnS)
- Sustentabilidad social (SoS)

3.3.2 Modelo propuesto y evaluado – Artículo 3

En este modelo se asume que TPM es la variable independiente y que la sustentabilidad económica es la variable dependiente, teniéndose a la Sustentabilidad social y Sustentabilidad ambiental como un medio para lograrlo. Sin embargo, para hacer que TPM tenga efecto, requiere de altos índices en OEE y preferentemente, que sean automatizados a través de sistemas Jidoka. El modelo propuesto se ilustra en la Figura 3.8.

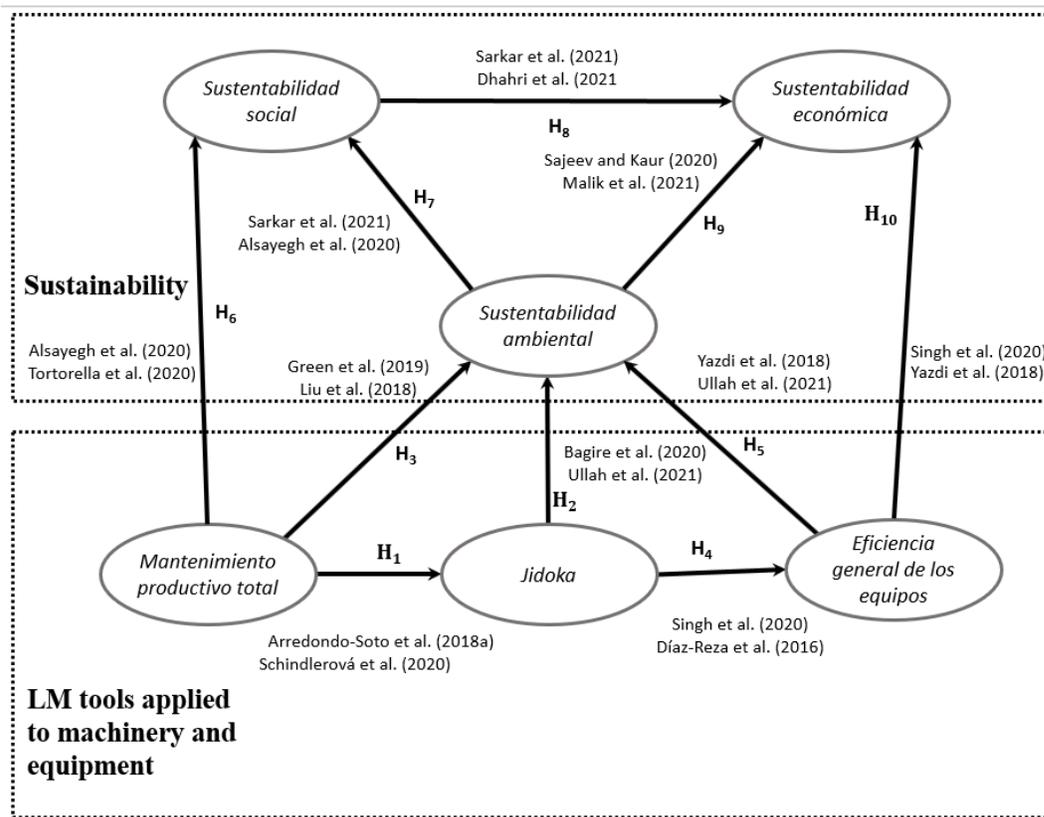


Figura 3.8 Modelo propuesto – Artículo 3

Las hipótesis son validadas con información de 239 respuestas a un cuestionario aplicado a gerentes activos en las líneas de producción de la industria maquiladora Mexicana establecida en Ciudad Juárez, México. El modelo evaluado de acuerdo con la metodología descrita anteriormente se ilustra en la Figura 3.9.

3.3.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 3

Los resultados de los efectos directos se indican en la Tabla 3.7 e indican que TPM es una variable que no solamente facilita la automatización de los procesos industriales e incrementa los OEE de las máquinas, sino que favorece la Sustentabilidad ambiental y Sustentabilidad social de las empresas. Esos resultados se deben a que el mantenimiento adecuado de las máquinas evita que se generen productos de baja calidad por problemas en la calibración de éstas, los cuales muchas veces requieren ser reprocesados, y algunas otras son totalmente desechados en vertederos públicos. Asimismo, máquinas debidamente ajustadas y calibradas no son fuente de accidentes en los operarios, lo que fortalece la sustentabilidad social en los mismos.

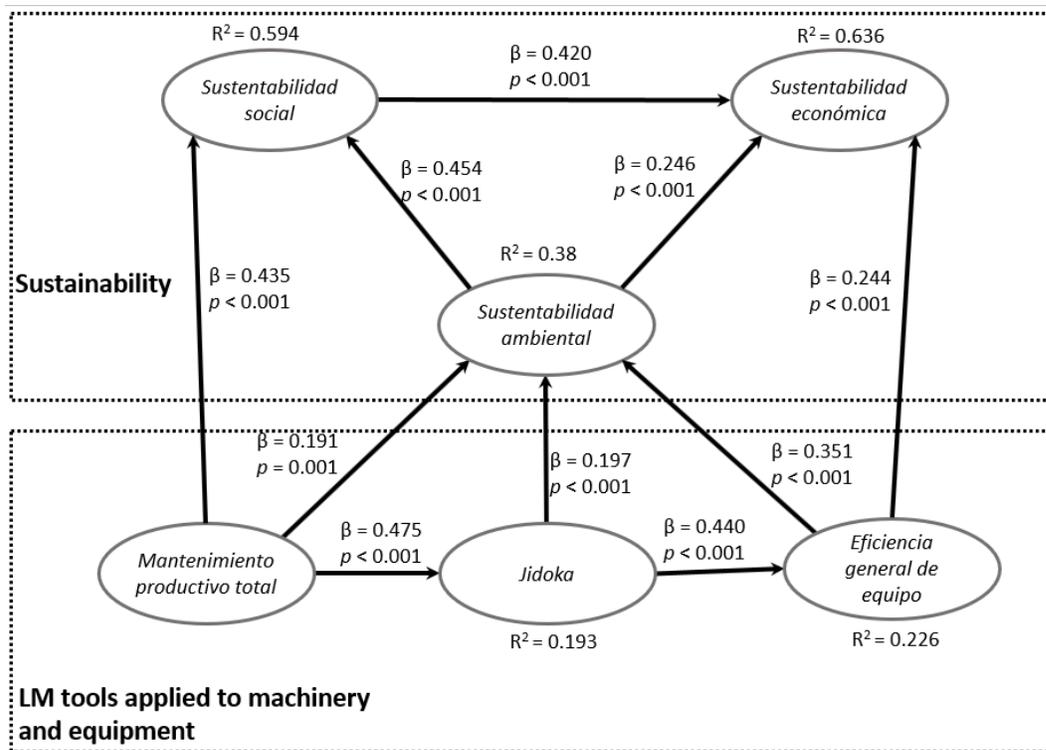


Figura 3.9 Modelo evaluado – Artículo 3

Tabla 3.7 Efectos directos – Artículo 3

	TPM	SoS	EnS	JID	OEE
EcS		0.420 (P<0.001) ES=3013	0.246 (P<0.001) ES=0.163		0.246 (P<0.001) ES=0.160
SoS	0.435 (P<0.001) ES=0.289		0.454 (P<0.001) ES=0.305		
EnS	0.191 (P=0.001) ES=0.096			0.197 (P<0.001) ES=0.088	0.244 (P<0.001) ES=0.196
JID	0.475 (P<0.001) ES=0.226				
OEE				0.440(P<0.001) ES=0.193	

En este modelo es importante observar que la Sustentabilidad económica es más influenciada por la Sustentabilidad social que por la Sustentabilidad ambiental, lo cual indica que la calidad y eficiencia de los procesos productivos se genera a través de los operadores y no a través de normas ambientales establecidas. De la misma manera, el OEE tiene una fuerte influencia sobre la Sustentabilidad económica, ya que las máquinas generan mayor calidad y están mayor tiempo disponibles para producir.

Al analizar los tamaños de los efectos que ejercen las variables sobre la Sustentabilidad económica, se observa que la Sustentabilidad social tiene un mayor poder explicativo que la Sustentabilidad ambiental y el OEE. De manera similar, se observa que la Sustentabilidad social es mayormente explicada por la Sustentabilidad ambiental que por TPM; es decir los trabajadores desean sentirse seguros con las máquinas y herramientas que operan, pero también en su entorno.

La Tabla 3.8 ilustra los efectos indirectos y totales. Se observa que los mayores efectos indirectos son los que tiene TPM y Jidoka sobre la Sustentabilidad económica. Esos resultados indican nuevamente que, al evitarse desperdicios por máquinas mal calibradas, no solamente se evitan problemas asociados a contaminantes, sino que también se evitan pérdidas financieras.

En relación con los efectos totales, se observa que el más alto es el que existe entre TPM y SoS, lo que indica que la prevención de accidentes al operar máquinas garantiza la seguridad e integridad de los trabajadores. Esos aspectos de seguridad se confirman al observar que otro de los efectos totales altos es el que tiene EnS sobre EcS, donde la prevención de accidentes ambientales y emisiones contaminantes favorece la estabilidad financiera de las empresas.

Tabla 3.8 Suma de efectos indirectos y totales – Artículo 3

Suma de efectos indirectos					
Dependent Variables	Independent variables				
	TPM	SoS	EnS	JID	OEE
EcS	0.390 (P<0.001) ES=0.253		0.191 (P<0.001) ES=0.126	0.261 (P<0.001) ES=0.104	0.153 (P<0.001) ES=0.100
SoS	0.163 (P<0.001) ES=0.108			0.160 (P<0.001) ES=0.069	0.159 (P<0.001) ES=0.105
EnS	0.143 (P<0.001) ES=0.084			0.154 (P<0.001) ES=0.069	
OEE	0.209 (P<0.001) ES=0.130				
Total effects					
EcS	0.390 (P<0.001) ES=0.253	0.420 (P<0.001) ES=0.313	0.437 (P<0.001) ES=0.289	0.261 (P<0.001) ES=0.104	0.397 (P<0.001) ES=0.260
SoS	0.597 (P<0.001) ES=0.397		0.454 (P<0.001) ES=0.305	0.160 (P<0.001) ES=0.069	0.159 (P<0.001) ES=0.105
EnS	0.358 (P<0.001) ES=0.181			0.352 (P<0.001) ES=0.156	0.351 (P<0.001) ES=0.196
JID	0.475 (P<0.001) ES=0.226				
OEE	0.209 (P<0.001) ES=0.130			0.400 (P<0.001) ES=0.193	

Del análisis de sensibilidad que se realiza en el modelo y que se ilustra en la Tabla 3.9, se observa que TPM es una variable vital para garantizar todo tipo de Sustentabilidad (social, ambiental y económica), pero también para incrementar los índices de eficiencia general de los equipos. Sin embargo, es un riesgo que esta variable tenga niveles de implementación bajos, ya que puede fomentar también la presencia de bajos niveles de sustentabilidad y disponibilidad de los equipos. De la misma manera, se observa que altos niveles de implementación de Jidoka favorecen la sustentabilidad e índices de eficiencia del equipo. Lo anterior se debe a que los sistemas de automatización evitan cometer errores que se convierten en desperdicios y, por ende, en pérdidas económicas para las empresas.

Tabla 3.9 Análisis de sensibilidad – Artículo 3

Nivel		TPM+	TPM-	JID+	JID-	OEE+	OEE-	EnS+	EnS-	SoS+	SoS-
	Prob.	0.188	0.142	0.172	0.180	0.188	0.146	0.159	0.151	0.205	0.159
EcS+	0.151	&=0.084 lf=0.444	&=0.004 lf=0.029	&=0.050 lf=0.333	&=0.000 lf=0.000	&=0.079 lf=0.422	&=0.008 lf=0.570	&=0.084 lf=0.526	&=0.004 lf=0.028	&=0.088 lf=0.429	&=0.000 lf=0.000
EcS-	0.138	&=0.004 lf=0.029	&=0.067 lf=0.471	&=0.008 lf=0.061	&=0.059 lf=0.424	&=0.000 lf=0.000	&=0.075 lf=0.514	&=0.004 lf=0.026	&=0.075 lf=0.500	&=0.000 lf=0.000	&=0.084 lf=0.526
SoS+	0.205	&=0.100 lf=0.533	&=0.008 lf=0.059	&=0.071 lf=0.347	&=0.021 lf=0.102	&=0.100 lf=0.533	&=0.008 lf=0.057	&=0.084 lf=0.526	&=0.008 lf=0.056		
SoS-	0.159	&=0.000 lf=0.000	&=0.092 lf=0.647	&=0.008 lf=0.053	&=0.067 lf=0.421	&=0.004 lf=0.022	&=0.088 lf=0.600	&=0.000 lf=0.000	&=0.092 lf=0.611		
EnS+	0.159	&=0.059 lf=0.311	&=0.013 lf=0.088	&=0.050 lf=0.316	&=0.017 lf=0.105	&=0.059 lf=0.311	&=0.013 lf=0.086				
EnS-	0.151	&=0.008 lf=0.044	&=0.067 lf=0.471	&=0.004 lf=0.028	&=0.067 lf=0.444	&=0.000 lf=0.000	&=0.071 lf=0.486				
OEE+	0.188	&=0.088 lf=0.467	&=0.08 lf=0.059	&=0.071 lf=0.378	&=0.021 lf=0.111						
OEE-	0.146	&=0.008 lf=0.044	&=0.088 lf=0.618	&=0.017 lf=0.114	&=0.063 lf=0.429						
JID+	0.172	&=0.067 lf=0.356	&=0.004 lf=0.029								
JID-	0.180	&=0.013 lf=0.067	&=0.067 lf=0.471								

3.3.4 Conclusiones – Artículo 3

Los efectos directos, suma de efectos indirectos y totales, así como el análisis de sensibilidad realizado al modelo reportado en el artículo 3, permiten establecer las siguientes conclusiones.

1. El Mantenimiento productivo total es una de las herramientas de LM que es soporte a la Sustentabilidad social y Sustentabilidad ambiental; sin embargo, favorece más a la primera a través de la prevención de accidentes y proporcionar áreas de trabajo seguras.
2. La automatización de los procesos de fabricación a través de sistemas Jidoka fomenta el incremento de la Eficiencia general de los equipos, pero también la

Sustentabilidad ambiental al prevenir que productos defectuosos se sigan produciendo.

3. LA Eficiencia general de los equipos favorece la Sustentabilidad ambiental y Sustentabilidad económica, aunque a la primero lo hace en mayor medida. Eso se debe a que incrementa la calidad de los productos terminados.
4. Aunque el Mantenimiento productivo total, Jidoka y la Eficiencia general de los equipos tienen un efecto directo sobre la Sustentabilidad ambiental, esta última es la que posee el mayor de todos.
5. La Sustentabilidad social tiene un mayor efecto sobre la Sustentabilidad económica en comparación con la Sustentabilidad ambiental.
6. La Sustentabilidad económica, a pesar de estar influenciada por la Sustentabilidad ambiental, la Eficiencia general de equipos y la Sustentabilidad social, es esta última la que tiene el mayor efecto.

3.4 Artículo 4. Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies

La referencia a este artículo es de la siguiente manera: García Alcaraz JL, Díaz Reza JR, Arredondo Soto KC, Hernández Escobedo G, Happonen A, Puig I Vidal R, Jiménez Macías E (2022a) Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies. *Mathematics* 10 (11). doi:10.3390/math10111877 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333).

El modelo que se reporta en este artículo también fue validado con información 160 respuestas al cuestionario 3 que se denomina prácticas verdes en la cadena de suministro y que se encuentra en el Apéndice C al final de la tesis. Este artículo fue publicado en la revista *Mathematics* descrita anteriormente para el artículo 3, por lo que se omite su gráfico e índice en el JCR, ya que es exactamente igual al mostrado en la Figura 3.7.

3.4.1 Las variables en el modelo – Artículo 4

Este artículo es muy diferente a los demás en esta tesis, ya que reporta tres modelos de ecuaciones estructurales y es una comparación con el trabajo reportado por Al-Sheyadi et al. (2019). En el primer modelo de ecuaciones estructurales es de primer orden e integra a las siguientes variables:

- Impactos ambientales (EI).
- Administración del sistema ambiental (EMS).
- Ecodiseño (ED).
- Reducción en la fuente (SR).
- Administración medioambiental externa (EEM).
- Ahorro en costos medio ambientales (ECS).

Las primaras cuatro variables forman lo que se denomina Administración de la cadena de suministro verde y en este modelo se analizan de manera aislada, las cuales son independientes y se relacionan con los Impactos ambientales y el Ahorro de costos

ambientales, las cuales son las variables dependientes y se relacionan mediante ocho hipótesis.

En el segundo y tercer modelo, todas las variables integradas en la Administración de la cadena de suministro verde se analizan como una sola que funge como variable independiente, por lo que este es un modelo de segundo orden, misma que se relaciona con los Impactos ambientales y los Ahorros en costos ambientales como variables dependientes mediante dos hipótesis. Así, las variables que integran este modelo son:

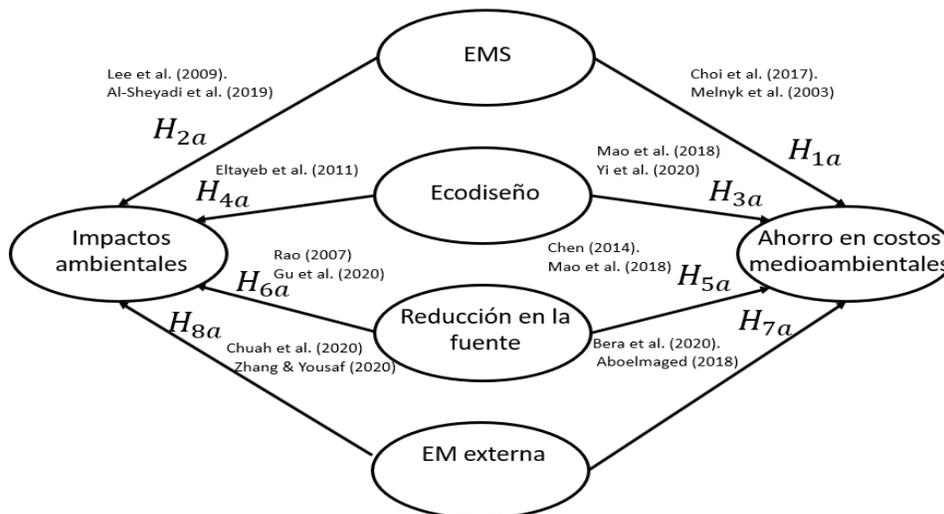
- Administración de la cadena de suministro verde (Colectivo de GSCM)
 - Administración del sistema ambiental (EMS).
 - Ecodiseño (ED).
 - Reducción en la fuente (SR).
 - Administración medioambiental externa (EEM).
- Impactos ambientales (EI).
- Ahorros en costos ambientales (ECS).

3.4.2 Modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 4

La Figura 3.10 ilustra los modelos usados en este artículo, donde se indican las variables, las hipótesis propuestas y algunas referencias que les dan soporte a las mismas.

3.4.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 4

Los efectos directos entre las variables de este modelo se indican en la Figura 3.11 y los resultados del primero indican que la Administración de la estrategia ambiental y la Administración ambiental externa tiene un impacto directo y positivo sobre los Impactos ambientales generados, así como sobre el Ahorro en costos ambientales, los cuales son los más altos. Sin embargo, en este modelo también se encontraron relaciones que fueron estadísticamente no significativas, tales como la Reducción en la fuente con los Impactos ambientales y los ahorros de costos ambientales.



a

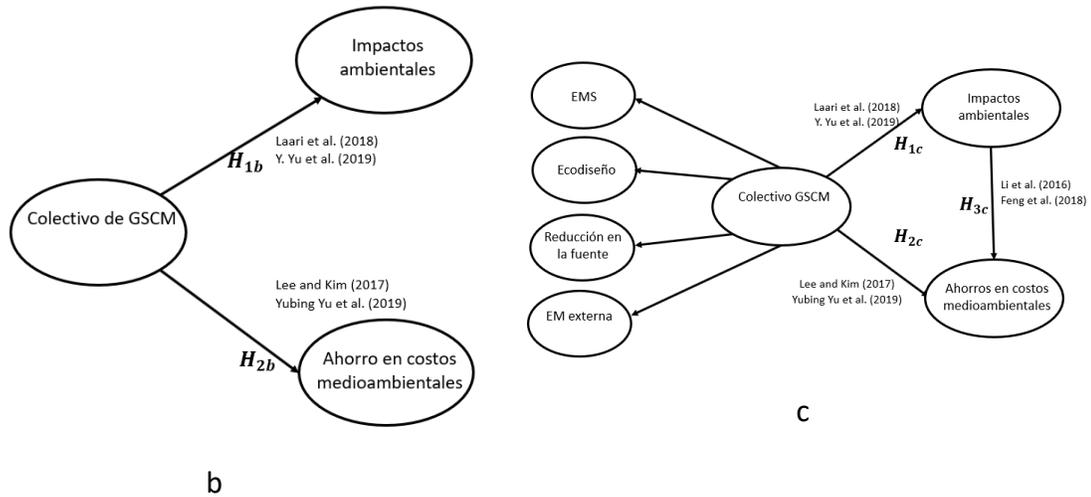
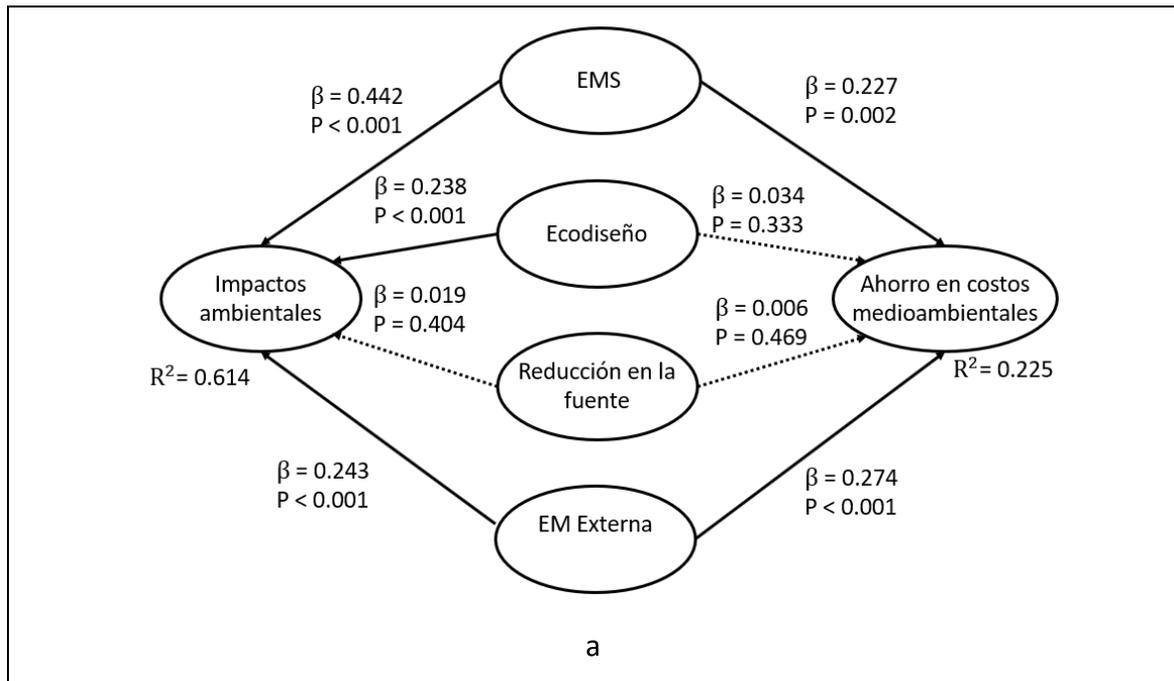


Figura 3.10 Modelos propuestos – Artículo 4. a. Modelo general b. Modelo de segundo orden con dos relaciones c. Modelo de segundo orden con tres relaciones



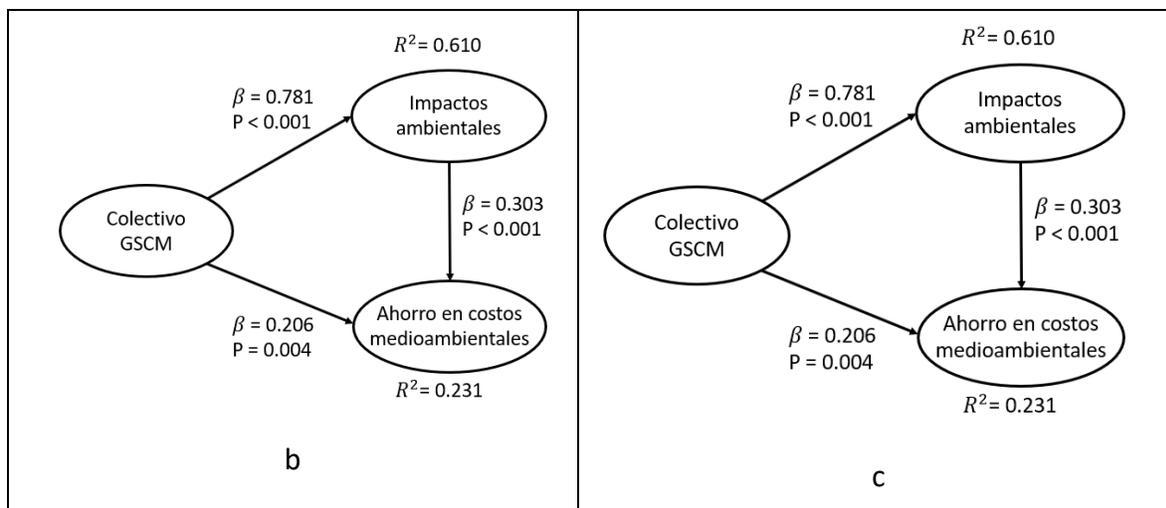


Figura 3.11 Modelos evaluados – Artículo 4. a. Modelo general b. Modelo de segundo orden con dos relaciones c. Modelo de segundo orden con tres relaciones

La Tabla 3.10 ilustra un resumen de los efectos directos, donde se comparan los coeficientes que se obtienen en el modelo de Al-Sheyadi et al. (2019), donde la última columna indica si existe similitud o no. Es importante mencionar que en el modelo a y b no existen efectos indirectos y solo existe uno en el modelo c.

Tabla 3.10 Comparación de los índices en el modelo

Modelo	H _i	Relación	Nuestro modelo	Al-Sheyadi et al. (2019)	Similarity
			β		
a	H _{1a}	EMS→ECS	0.227**	0.226**	Yes
	H _{2a}	EMS→EI	0.442**	0.380**	Yes
	H _{3a}	ED→ECS	0.034‡	-0.018‡	Yes
	H _{4a}	ED→EI	0.238**	-0.151*	No
	H _{5a}	SR→ECS	0.006‡	0.596**	No
	H _{6a}	SR→EI	0.019‡	0.543**	No
	H _{7a}	EEM→ECS	0.274**	0.01‡	No
	H _{8a}	EEM→EI	0.243**	0.01‡	No
b	H _{1b}	CGSCM→EI	0.781**	0.648**	Yes
	H _{2b}	CGSCM→ECS	0.441**	0.589**	Yes
c	H _{1c}	CGSCM→EI	0.781**	0.563**	Yes
	H _{2c}	CGSCM→ECS	0.206**	0.159*	Yes
	H _{3c}	EI→ECS	0.303**	0.617**	No

** Con significancia estadística al 99% de confianza

* Con significancia estadística al 95% de confianza

‡ Sin significación estadística al 95% de confianza

En el segundo modelo los resultados indican que la agrupación las variables integradas en la Administración de la cadena de suministro verde poseen el efecto más alto en los Impactos ambientales, ya que se refiere a la gestión interna que realizan las empresas

para dar cumplimiento con las normativas y controlar las variables ambientales en su proceso productivo. Sin embargo, también se tiene un efecto directo sobre el Ahorro de los costos ambientales, aunque éste es menor.

Finalmente, el tercer modelo que relaciona mediante una hipótesis los Impactos ambientales con la Reducción de costos ambientales, indica que esta es estadísticamente significativa y puede explicar hasta el 23.1% de su variabilidad. Lo anterior indica que la disminución de Impactos ambientales favorece los costos asociados a estos en la línea de producción, debido en primer lugar a qué se evitan sanciones administrativas por parte de las entidades gubernamentales. Así, los gerentes deben enfocarse en disminuir esos impactos ambientales que se generan en el proceso productivo.

En relación con el análisis de sensibilidad, la Tabla 3.11 indica las probabilidades de que ocurran las variables en sus niveles bajos y altos, así como en una combinación de ambos niveles cuando ocurren de manera simultánea y condicional. Los resultados indican que altos niveles en la gestión del sistema ambiental son precedentes para que ocurran reducciones en costos e impactos ambientales; sin embargo, niveles bajos son un riesgo y es por ello por lo que los gerentes deben enfocarse en consolidar ese tipo de programas.

Tabla 3.11 Análisis de sensibilidad – Artículo 4

Modelo A	Desde		ECS		EI	
	Level	Level	+	-	+	-
			0.219	0.106	0.231	0.15
^a EMS	+	0.206	& = 0.087 If = 0.424	& = 0.006 If = 0.030	& = 0.113 If = 0.545	& = 0.000 If = 0.000
	-	0.163	& = 0.006 If = 0.038	& = 0.044 If = 0.269	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.081 If = 0.500
^a ED	+	0.194	& = 0.075 If = 0.387	& = 0.013 If = 0.065	& = 0.087 If = 0.452	& = 0.000 If = 0.000
	-	0.156	& = 0.06 If = 0.040	& = 0.031 If = 0.200	& = 0.019 If = 0.120	& = 0.069 If = 0.440
^a SR	+	0.181	& = 0.081 If = 0.448	& = 0.019 If = 0.103	& = 0.106 If = 0.586	& = 0.013 If = 0.069
	-	0.188	& = 0.006 If = 0.033	& = 0.031 If = 0.167	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.087 If = 0.467
^a EEM	+	0.206	& = 0.100 If = 0.485	& = 0.006 If = 0.030	& = 0.119 If = 0.576	& = 0.000 If = 0.000
	-	0.206	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.037 If = 0.182	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.100 If = 0.485
^{b,c} CGSCM	+	0.175	& = 0.087 If = 0.500	& = 0.006 If = 0.036	& = 0.100 If = 0.571	& = 0.000 If = 0.000
	-	0.194	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.044 If = 0.226	& = 0.000 If = 0.000	& = 0.119 If = 0.613
^c EI	+	0.231	& = 0.094	& = 0.019		

			If = 0.405	If = 0.081		
	-	0.15	& = 0.000	& = 0.044		
			If = 0.000	If = 0.292		

3.4.4 Conclusiones – Artículo 4

El análisis de los efectos directos, suma de efectos indirectos y totales al los modelos presentados en

1. El manejo de estrategias ambientales de manera adecuada fomenta los Impactos ambientales y la reducción de costos en la cadena de suministro, lo que indica que las inversiones que hagan los gerentes en mejorar sus procesos productivos para hacerlos más amigables con el medio ambiente se verán reflejado en la disminución de costos totales de producción.
2. La implementación de política enfocadas al Ecodiseño fomenta una disminución en los Impactos ambientales de las cadenas de suministro, pero desafortunadamente incrementa los costos de producción y ambientales, y esa es la razón por la que muchos gerentes no integran materiales amigables, ya que pueden ser caros.
3. En las empresas maquiladoras, la Reducción en la fuente no tiene un efecto directo sobre los Impactos ambientales y ahorros en costos medioambientales, lo cual se debe a la naturaleza propia de este tipo de empresas.
4. La implementación de estrategias ambientales externas con proveedores de materia prima fomenta la reducción de los Impactos y costos ambientales, ya que se identifican los problemas antes de entrar al proceso productivo, lo que facilita la toma de decisiones conjuntas y se comparte la responsabilidad.
5. En términos generales, las políticas y prácticas para reducir los Impactos ambientales en la cadena de suministro son eficientes, lo que se traduce en ahorros ambientales debido a sanciones administrativas.
6. Los programas enfocados a la reducción de Impactos ambientales fomenta el Ahorro en costos medioambientales, ya que se reducen sanciones administrativas por emisiones contaminantes.

3.5 Artículo 5. Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits

La referencia de este artículo es la siguiente: Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Figueroa LJM, Vidal RP, Muro JCSD (2022) Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 123 (3-4):1269-1284. doi:10.1007/s00170-022-10208-0 (Factor de impacto 3.563, categorías ENGINEERING, MANUFACTURING – SCIE Q2, 28/65, AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS – SCIE Q2, 25/51).

El modelo presentado en este artículo es validado con 176 respuesta que se obtuvieron al cuestionario de herramientas de LM y sustentabilidad y que aparece en el Apéndice A. Este artículo fue publicado en la revista International Journal of Advanced Manufacturing

Technology y la Figura 3.12 ilustra el factor de impacto de ésta y la tendencia que ha tenido este en los últimos 5 años, perteneciendo al segundo cuartil en dos categorías.

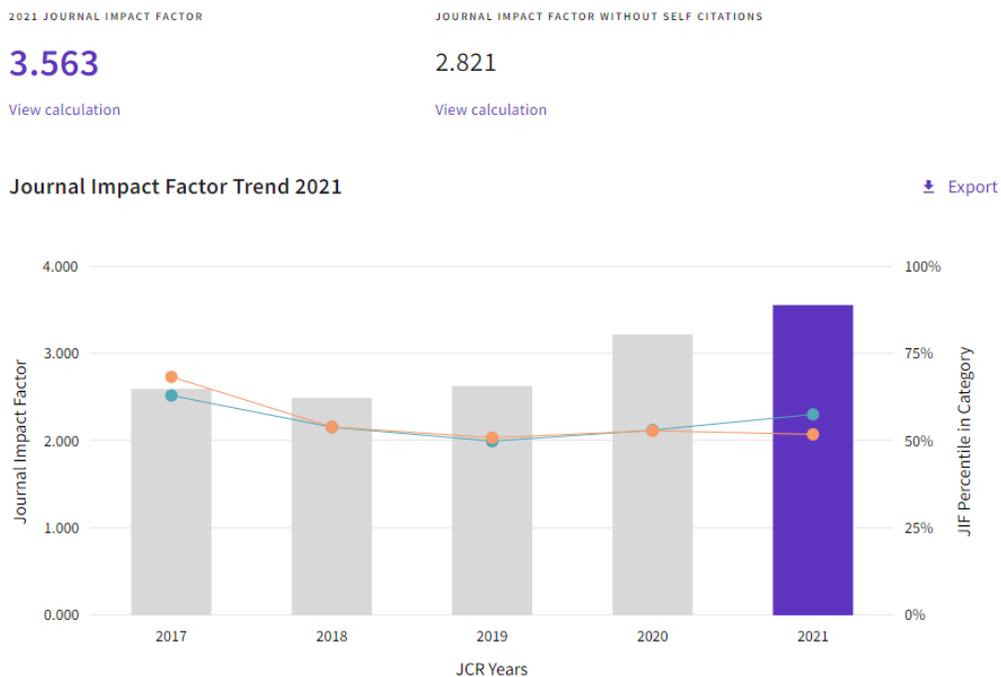


Figura 3.12 Factor de impacto del International Journal of Advanced Manufacturing Technology

3.5.1 Las variables en el modelo - Artículo 5

Este modelo es una respuesta a una petición especial que se realizó por parte de la asociación IMMEX y presenta un modelo de ecuaciones estructurales en el que se integran herramientas de LM asociadas a la maquinaria y equipo, pero también al flujo de materiales, mismas que son asociadas con la sustentabilidad económica de las empresas. Las variables integradas en este modelo son:

- Mantenimiento productivo total (TPM).
- Cambios rápidos (QS).
- Índice general de eficiencia del equipo (OEE).
- Flujo de una sola pieza (OPF).
- Sustentabilidad económica (ESU).

En este modelo se asume que la variable latente independiente es TPM y la variable de respuesta o dependiente es la sustentabilidad económica, teniendo como variables mediadoras a QS, OEE y OPF.

3.5.2 El modelo propuesto y modelo evaluado – Artículo 5

Las variables latentes se relacionan mediante siete hipótesis que son validadas con información proveniente de 176 respuestas a un cuestionario aplicado a la industria maquiladora mexicana y mediante el uso de la técnica de mínimos cuadrados parciales.

Las relaciones entre las variables se ilustran en la Figura 3.13. Después de evaluar el modelo de acuerdo con la metodología propuesta, se obtienen los resultados que se ilustran en la Figura 3.14, donde se ilustran los valores de β para cada relación, los p valores asociados y R^2 para las variables dependientes.

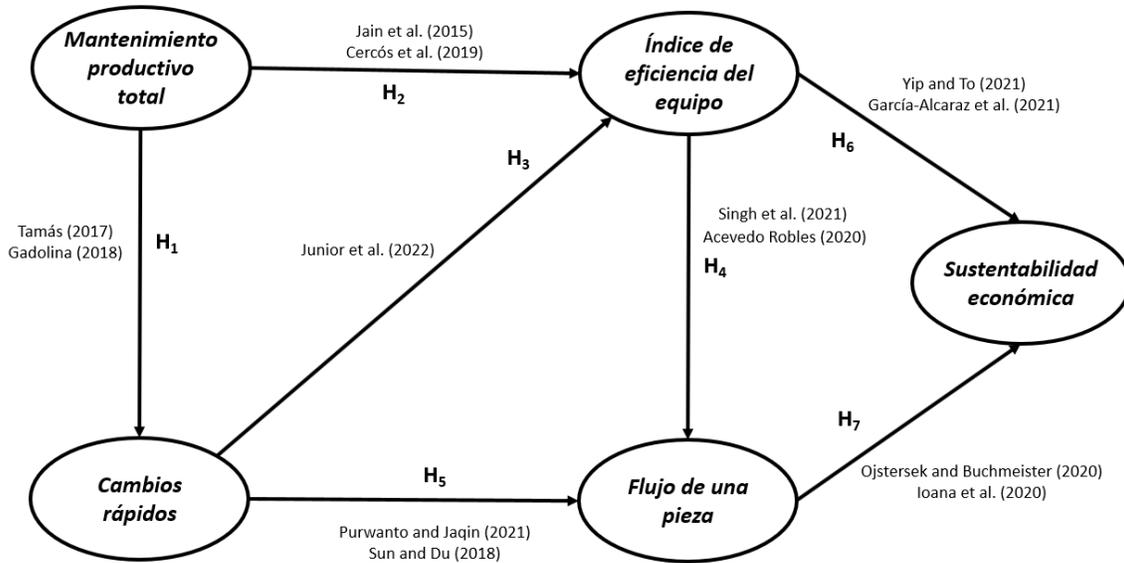


Figura 3.13 Modelo propuesto – Artículo 5

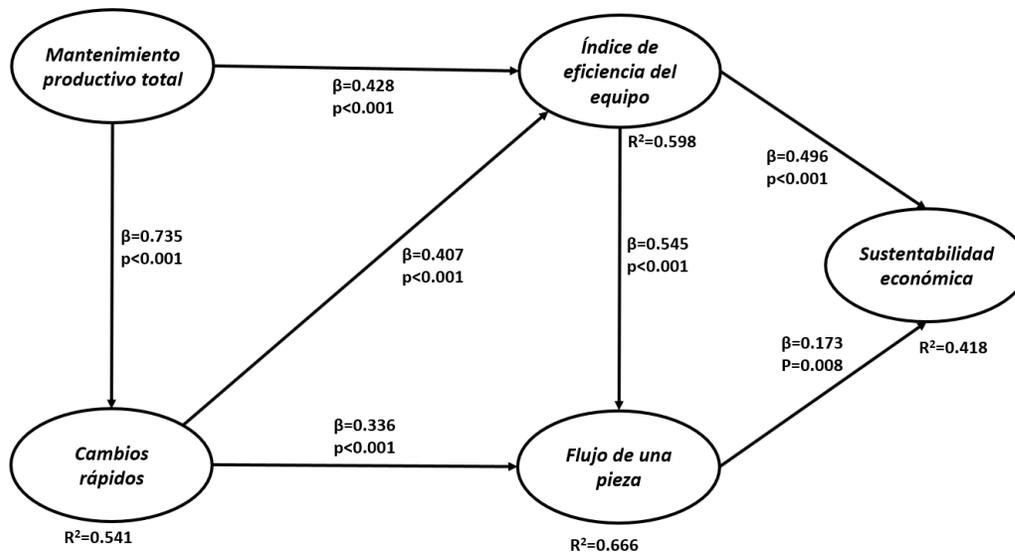


Figura 3.14 Modelo evaluado – Artículo 5

3.5.3 Efectos directos, suma de efectos indirectos y totales – Artículo 5

Se observa que la relación más alta que se encontró fue entre las variables Mantenimiento productivo total y Cambios rápidos con un valor de 0.735, lo que indica que TPM facilita la programación y ejecución de QS. Esta relación es seguida en tamaño por la relación existente entre el Índice de eficiencia de los equipos con el Flujo de una sola pieza, lo que

indica que OEE facilita la implementación de OPF. Lo anterior es debido a que se conocen las condiciones generales en las que se encuentran las máquinas, lo que incrementa la calidad y nivel de disponibilidad de estas, que a su vez facilita el OPF a lo largo del sistema productivo.

En este caso, la relación más débil se encuentra entre OPF y ESU; sin embargo, aun así, es estadísticamente significativa. Un resumen de los efectos directos se indica en la Tabla 3.12, donde se indica la conclusión en relación con la hipótesis que se plantea. En este caso, todas las hipótesis son aceptadas.

Tabla 3.12 Efectos directos -Artículo 5

Hipótesis	Relación	β	P-valor	Conclusión
H ₁	TPM→QS	0.725	<0.001	Aceptar
H ₂	TPM→OEE	0.428	<0.001	Aceptar
H ₃	QS→OEE	0.407	<0.001	Aceptar
H ₄	OEE→OPF	0.545	<0.001	Aceptar
H ₅	QS→OPF	0.336	<0.001	Aceptar
H ₆	OEE→ESU	0.496	<0.001	Aceptar
H ₇	OPF→ESU	0.173	=0.008	Aceptar

La Tabla 3.13 ilustra la suma de efectos indirectos y totales. En relación con los efectos indirectos, queda claramente validado que la relación entre TPM y OPF son las variables que tienen el mayor efecto indirecto a través de QS y OEE. De la misma manera, en este modelo se demuestra lo que ya se había hecho anteriormente, indicando que TPM es una variable que tiene una fuerte influencia indirecta sobre la ESU.

Tabla 3.13 Suma de efectos indirectos y totales – Artículo 5

Sum of indirect effects				
	TPM	QS	OEE	OPF
QS	$\beta=0.735$ (P<0.001) ES=0.545			
OEE	$\beta=0.299$ (P<0.001) ES=0.215			
OPF	$\beta=0.643$ (P<0.001) ES=0.464	$\beta=0.221$ (P<0.001) ES=0.159		
ESU	$\beta=0.474$ (P<0.001) ES=0.239	$\beta=0.300$ (P<0.001) ES=0.158	$\beta=0.096$ (P=0.034) ES=0.061	
Efectos totales				
QS	$\beta=0.735$ (P<0.001) ES=0.545			
OEE	$\beta=0.727$ (P<0.001) ES=0.523	$\beta=0.407$ (P<0.001)		

		ES=0.290		
OPF	$\beta=0.643$ (P<0.001) ES=0.464	$\beta=0.557$ (P<0.001) ES=0.400	$\beta=0.545$ (P<0.001) ES=0.435	
ESU	$\beta=0.474$ (P<0.001) ES=0.239	$\beta=0.300$ (P<0.001) ES=0.158	$\beta=0.592$ (P<0.001) ES=0.378	$\beta=0.176$ (P<0.001) ES=0.102

Esos efecto indirectos y directos hacen que muchos efectos que eran bajos suban de valor, denotando la importancia de las variables mediadoras. Por ejemplo, la relación de QS con OPF era de solamente 0.336 de manera directa, pero el efecto indirecto es de 0.221, lo que da un efecto total de 0.557.

Al igual que en modelos anteriores, la variable TPM demostró ser un fuerte precursor de QS y de OEE, lo que queda demostrado también por el análisis de sensibilidad, ya que indica qué altos niveles en la primera variable favorece la ocurrencia de las segundas. De la misma manera, se demostró que la variable asociada a los QS es un fuerte predecesor de OEE, ya que requiere de menos tiempo para realizar los ajustes, y favorece el OPF por el sistema, facilitando la personalización de los productos. La Tabla 3.14 ilustra el resumen del análisis de sensibilidad.

Tabla 3.14 Análisis de sensibilidad – Artículo 5

		TPM+	TPM-	QS+	QS-	OEE+	OEE-	OPF+	OPF-
	Probability	0.176	0.148	0.239	0.136	0.193	0.148	0.142	0.136
QS+	0.239	$\beta=0.125$ IF=0.710	$\beta=0.001$ IF=0.077						
QS-	0.136	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.097$ IF=0.654						
OEE+	0.193	$\beta=0.144$ IF=0.645	$\beta=0.006$ IF=0.038	$\beta=0.114$ IF=0.476	$\beta=0.000$ IF=0.000				
OEE-	0.148	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.085$ IF=0.577	$\beta=0.006$ IF=0.024	$\beta=0.091$ IF=0.667				
OPF+	0.142	$\beta=0.097$ IF=0.548	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.108$ IF=0.452	$\beta=0.000$ IF=0.00	$\beta=0.119$ IF=0.618	$\beta=0.000$ IF=0.000		
OPF-	0.136	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.097$ IF=0.607	$\beta=0.006$ IF=0.024	$\beta=0.097$ IF=0.708	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.102$ IF=0.692		
ESU+	0.244	$\beta=0.097$ IF=0.548	$\beta=0.023$ IF=0.143	$\beta=0.125$ IF=0.524	$\beta=0.011$ IF=0.080	$\beta=0.114$ IF=0.588	$\beta=0.006$ IF=0.038	$\beta=0.091$ IF=0.640	$\beta=0.006$ IF=0.042
ESU-	0.119	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.063$ IF=0.393	$\beta=0.006$ IF=0.024	$\beta=0.063$ IF=0.440	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.068$ IF=0.468	$\beta=0.000$ IF=0.000	$\beta=0.068$ IF=0.500

3.5.4 Conclusiones – Artículo 5

Los efectos directos, suma de efectos indirectos y totales de este modelo permiten realizar las siguientes conclusiones:

1. La implementación programas asociados al Mantenimiento productivo total ayudan a mejorar los Cambios rápidos en el proceso productivo, lo que incrementa los niveles de eficiencia de las máquinas y equipos, ya que éstas están más tiempo disponibles.
2. Los Cambios rápidos fomentan la disponibilidad de las máquinas en las líneas de producción, lo que incrementa el flujo de piezas más personalizadas para los clientes, aceptando lotes de producción más pequeños.
3. El Índice de eficiencia del equipo es afectado de manera directa por el Mantenimiento productivo total y los Cambios rápidos; sin embargo, la primera variable tiene un efecto ligeramente mayor. Además, al integrar el efecto indirecto, el efecto total es uno de los más grandes.
4. El Flujo de una sola pieza es influenciada por los Cambios rápidos y por el Índice de eficiencia del equipo, pero el efecto de esta última variable es mucho mayor debido a que un concepto que integra tres dimensiones.
5. La Sustentabilidad económica de las empresas está fuertemente influenciada por los Índices de eficiencia general de los equipos, ya que se incrementa la disponibilidad de las máquinas y la calidad de los productos que procesan, además de que tienen un enfoque más personalizado.

4. CONCLUSION GENERAL

La manufactura esbelta, también conocida como Lean Manufacturing, es un enfoque de gestión que busca eliminar el desperdicio y mejorar la eficiencia en los procesos de producción. La implementación de principios y herramientas lean puede tener un impacto significativo en la sustentabilidad de las empresas debido principalmente a lo siguiente:

1. Reducción del desperdicio: La manufactura esbelta a través de sus diferentes herramientas se centra en identificar y eliminar todas las fuentes de desperdicio en los procesos de producción, tales como el exceso de inventario, los tiempos de espera, los movimientos innecesarios y los defectos de calidad. Al reducir el desperdicio, las empresas pueden optimizar el uso de recursos, disminuir el consumo de materias primas y energía, y minimizar el impacto ambiental de sus operaciones, volviéndolas sustentables.
2. Mejora de la eficiencia: Mediante la eliminación de actividades que no agregan valor, la manufactura esbelta permite mejorar la eficiencia operativa en los procesos productivos. Al utilizar herramientas como el mapeo de flujo de valor y el análisis de tiempos y movimientos, las empresas pueden identificar cuellos de botella y mejorar los procesos para lograr una producción más rápida y eficiente, cambiando líneas de producción rápidamente y ofreciendo productos únicos y personalizados a sus clientes. Lo anterior reduce el tiempo de ciclo, aumenta la capacidad de respuesta y optimiza el uso de sus recursos, lo que contribuye a la sustentabilidad económica de la empresa.
3. Mejora de la calidad: La manufactura esbelta pone un fuerte énfasis en la calidad y muchas de sus herramientas se enfocan en ello. Al eliminar las fuentes de defectos y establecer procesos estandarizados, las empresas pueden reducir los productos no conformes con las especificaciones técnicas, minimizar el retrabajo y desperdicios que van a vertederos. Así, esto no solo reduce los costos asociados con los defectos, sino que también disminuye el desperdicio de recursos utilizados para producir productos defectuosos. Además, al proporcionar productos de mayor calidad, las empresas pueden mejorar la satisfacción del cliente y fortalecer su posición en el mercado.
4. Involucramiento y desarrollo del personal: Un aspecto fundamental de la manufactura esbelta es el enfoque en el desarrollo y empoderamiento del personal que tiene. Mediante la implementación de prácticas como el trabajo en equipo, la participación en la toma de decisiones y la capacitación continua en todos los niveles organizacionales, las empresas pueden aprovechar el conocimiento y la experiencia de sus empleados para identificar oportunidades de mejora y fomentar una cultura de mejora continua. Esto no solo contribuye a la sustentabilidad del negocio al impulsar la innovación y la adaptabilidad, sino que también mejora la moral y el compromiso de los empleados al tener más sentido de pertenencia.

De la misma manera, estudiar las actividades en la cadena de suministro fomenta la sustentabilidad, ya generalmente en esta parte del proceso no se añade valor al producto y ocurren las mayores pérdidas. Algunas de las razones de su asociación son las siguientes:

1. Se incrementa la eficiencia en el uso de recursos, ya que una gestión eficiente de la cadena de suministro implica minimizar la cantidad de materiales utilizados, optimizar los procesos de producción y transporte, y reducir el desperdicio en todas las etapas, lo que conlleva a la reducción del uso de combustibles y energéticos. Esto se traduce en una disminución de la huella ambiental de sus operaciones, mejor uso de los recursos naturales, contribuyendo a la sustentabilidad ambiental.
2. Se da cumplimiento de regulaciones y estándares debido a que las empresas operan en un entorno regulado, y la cadena de suministro puede estar sujeta a una serie de regulaciones y estándares relacionados con aspectos ambientales, sociales y éticos. Por ejemplo, las regulaciones de seguridad y salud laboral, la gestión de residuos, las prácticas justas de trabajo, la trazabilidad de los productos, entre otros. El cumplimiento de estas regulaciones y estándares es esencial para asegurar la sostenibilidad y la reputación de la empresa.
3. Se facilita la gestión de riesgos, ya que la cadena de suministro puede ser vulnerable a diversos riesgos, como interrupciones en la cadena de suministro debido a desastres naturales, conflictos políticos, fluctuaciones en los precios de los productos básicos, problemas de calidad, entre otros. La gestión efectiva de la cadena de suministro implica identificar y evaluar estos riesgos, implementar medidas de mitigación y establecer planes de contingencia. Esto no solo asegura la continuidad de las operaciones de la empresa, sino que también promueve su resiliencia y sustentabilidad a largo plazo.
4. Existe más colaboración y transparencia debido a que una cadena de suministro sostenible requiere de una colaboración estrecha y transparente entre todos los actores involucrados, desde proveedores hasta clientes. Las empresas pueden trabajar en conjunto con sus proveedores para establecer prácticas sostenibles, compartir información y promover la responsabilidad social corporativa en toda la cadena de suministro. Esto ayuda a garantizar que los productos y servicios sean producidos de manera ética y sostenible, y que los impactos negativos se reduzcan y se aborden de manera efectiva.

REFERENCIAS

- Abbadi LE, Elrhanimi S, Manti SE (2020) A literature review on the evolution of lean manufacturing. *J Syst Manag Sci* 10 (4):13-30. doi:10.33168/JSMS.2020.0402
- Acevedo Robles L (2020) Sistema Kanban Para Mejorar La Productividad De Los Procesos De Fabricación. *Manufacturing Competitiveness*;
- Afonso P, Zanin A, Durán O (2022) Special Issue on Cost–Benefit Analysis for Economic Sustainability in Supply Chains. *Sustainability (Switzerland)* 14 (16). doi:10.3390/su141610310
- Aguado S, Alvarez R, Domingo R (2013) Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production* 47:141-148. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.048
- Al-Sheyadi A, Muyldermans L, Kauppi K (2019) The complementarity of green supply chain management practices and the impact on environmental performance. *Journal of Environmental Management* 242:186-198. doi:10.1016/j.jenvman.2019.04.078
- Alcaraz JLG, Hernández FAM, Tiznado JEO, Vargas AR, Macías EJ, Lardies CJ (2021) Effect of quality lean manufacturing tools on commercial benefits gained by mexican maquiladoras. *Mathematics* 9 (9). doi:10.3390/math9090971
- Anand AV, Sivaraj G, Velmurugan P, Rao KS, Khan MA, Kumar PSP Interpretive Structural Modelling Approach: Implementation of Sustainability Concept and Lean in Aerospace Sectors. In: Aranganayagam KR, Sreeharan BN, Geethakarthis A, Sukanya Devi R (eds) 2021 International Conference on Material Research in Science and Engineering, KMRSE 2021, 2022. American Institute of Physics Inc. doi:10.1063/5.0109432
- Anderson HE (1970) Forest fuel ignitibility. *Fire Technol* 6 (4):312-319. doi:10.1007/BF02588932
- Anosike A, Alafropatis K, Garza-Reyes JA, Kumar A, Luthra S, Rocha-Lona L (2021) Lean manufacturing and internet of things – A synergetic or antagonist relationship? *Computers in Industry* 129. doi:10.1016/j.compind.2021.103464
- Arnoldussen F, Koetse MJ, de Bruyn SM, Kuik O (2022) What Are People Willing to Pay for Social Sustainability? A Choice Experiment among Dutch Consumers. *Sustainability (Switzerland)* 14 (21). doi:10.3390/su142114299
- Arredondo-Soto KC, Cruz-Castillo MS, Carrillo-Gutierrez T, Solis-Quinteros M, Avila-Lopez LA Calibration system for cost reduction: A case study in the Maquiladora industry. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018*.
- Aryampa S, Maheshwari B, Sabiiti EN, Zamorano M (2021) A framework for assessing the Ecological Sustainability of Waste Disposal Sites (EcoSWaD). *Waste Management* 126:11-20. doi:10.1016/j.wasman.2021.02.044
- Bag S, Pretorius JHC (2022) Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis* 30 (4):864-898. doi:10.1108/IJOA-04-2020-2120
- Bastas A (2021) Sustainable manufacturing technologies: A systematic review of latest trends and themes. *Sustainability (Switzerland)* 13 (8). doi:10.3390/su13084271
- Bezerra MCDC, Gohr CF, Morioka SN (2020) Organizational capabilities towards corporate sustainability benefits: A systematic literature review and an integrative framework proposal. *Journal of Cleaner Production* 247. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119114
- Bilgili L, Deli D, Celebi UB An innovative six sigma and lean manufacturing approach for environmental friendly shipyard. In: *2nd International Conference on Sustainable*

- Intelligent Manufacturing, SIM 2013, Lisbon, 2013. Taylor and Francis - Balkema, pp 263-268. doi:10.1201/b15002-51
- Boch S, Allan E, Humbert J-Y, Kurtogullari Y, Lessard-Therrien M, Müller J, Prati D, Rieder NS, Arlettaz R, Fischer M (2018) Direct and indirect effects of land use on bryophytes in grasslands. *Science of The Total Environment* 644:60-67. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.323
- Burggräf P, Adlon T, Hahn V, Schulz-Isenbeck T (2021) Fields of action towards automated facility layout design and optimization in factory planning – A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 35:864-871. doi:10.1016/j.cirpj.2021.09.013
- Caldas-Miguel J, Carvallo-Munar E, Leon-Chavarri C, Raymundo C, Mamani-Macedo N, Dominguez F (2020) Purchasing and Quality Management Lean Manufacturing Model for the Optimization of Delivery Times in SMEs in the Food Sector. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1209 AISC. doi:10.1007/978-3-030-50791-6_61
- Carrera JF, Del Olmo AA, Cuadrado MR, Escudero MME, Cuadrado LR (2021) From lean 5s to 7s methodology implementing corporate social responsibility concept. *Sustainability (Switzerland)* 13 (19). doi:10.3390/su131910810
- Cercós MP, Calvo LM, Domingo R An exploratory study on the relationship of overall equipment effectiveness (OEE) variables and CO2 emissions. In: *Procedia Manufacturing*, 2019. pp 224-232
- Chanda SS, Ray S (2016) Learning from Project Failure: Globalization Lessons for an MNC. *Thunderbird International Business Review* 58 (6):575-585. doi:10.1002/tie.21776
- Chen PK, Fortuny-Santos J, Lujan I, Ruiz-de-Arbulo-López P (2019) Sustainable manufacturing: Exploring antecedents and influence of Total Productive Maintenance and lean manufacturing. *Advances in Mechanical Engineering* 11 (11). doi:10.1177/1687814019889736
- Chen PK, Lujan-Blanco I, Fortuny-Santos J, Ruiz-De-arbulo-lópez P (2020) Lean manufacturing and environmental sustainability: The effects of employee involvement, stakeholder pressure and iso 14001. *Sustainability (Switzerland)* 12 (18):1-19. doi:10.3390/su12187258
- Cherrafi A, Elfezazi S, Chiarini A, Mokhlis A, Benhida K (2016) The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *Journal of Cleaner Production* 139:828-846. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.101>
- Chiarini A (2013) The Main Methods of Lean Organization: Kanban, Cellular Manufacturing, SMED and TPM. In: Chiarini A (ed) *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*. Springer Milan, Milano, pp 81-116. doi:10.1007/978-88-470-2510-3_6
- Chikwendu OC, Chima AS, Edith MC (2020) The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company. *Heliyon* 6 (4):e03796. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03796
- Ciannella S, Santos LC (2021) Exploring the influence of lean manufacturing practices on employee social sustainability. *Social Responsibility Journal*. doi:10.1108/SRJ-06-2021-0229
- Ciannella S, Santos LC (2022) Exploring the influence of lean manufacturing practices on employee social sustainability. *Social Responsibility Journal* 18 (8):1677-1691. doi:10.1108/SRJ-06-2021-0229
- Colim A, Morgado R, Carneiro P, Costa N, Faria C, Sousa N, Rocha LA, Arezes P (2021) Lean manufacturing and ergonomics integration: Defining productivity and wellbeing indicators

- in a human–robot workstation. *Sustainability (Switzerland)* 13 (4):1-21. doi:10.3390/su13041931
- Comm CL, Mathaisel DFX (2003) Less is more: A framework for a sustainable university. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 4 (4):314-323. doi:10.1108/14676370310497543
- Da Silva MG (2016) Jidoka: Concepts and application of automation in an electronics industry company. *Espacios* 37 (2)
- De Araujo LF, De Queiroz AA (2010) A conceptual model for production leveling (Heijunka) implementation in batch production systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 338 AICT. doi:10.1007/978-3-642-16358-6_11
- Delbridge R, Oliver N (1991) Narrowing the gap? Stock turns in the Japanese and Western car industries. *International Journal of Production Research* 29 (10):2083-2095. doi:10.1080/00207549108948068
- Díaz-Reza J, García-Alcaraz J, Avelar-Sosa L, Mendoza-Fong J, Sáenz Diez-Muro J, Blanco-Fernández J (2018a) The Role of Managerial Commitment and TPM Implementation Strategies in Productivity Benefits. *Applied Sciences* 8 (7):1153. doi:10.3390/app8071153
- Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Martínez-Loya V, Avelar-Sosa L, Jiménez-Macías E, Blanco-Fernández J (2018b) Impact of infrastructure and production processes on Rioja wine supply chain performance. *Sustainability (Switzerland)* 10 (1). doi:10.3390/su10010103
- Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Martínez-Loya V, Blanco-Fernández J, Jiménez-Macías E, Avelar-Sosa L (2016) The effect of SMED on benefits gained in maquiladora industry. *Sustainability (Switzerland)* 8 (12). doi:10.3390/su8121237
- Díaz-Reza JR, García Alcaraz JL, Morales García AS (2022) Lean Manufacturing Origins and Concepts. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/978-3-030-97752-8_1
- Dudek-Burlikowska M, Szewieczek D (2009) The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 36 (1):95-102
- Eaidgah Y, Maki AA, Kurczewski K, Abdekhodae A (2016) Visual management, performance management and continuous improvement. *International Journal of Lean Six Sigma* 7 (2):187-210. doi:10.1108/IJLSS-09-2014-0028
- Eldenbug LG, Roman F, Teruya J (2007) An analysis of the effects of maquiladora production on performance. *J Account Audit Financ* 22 (3):423-447. doi:10.1177/0148558X0702200304
- Esmailian B, Behdad S, Wang B (2016) The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems* 39:79-100. doi:10.1016/j.jmsy.2016.03.001
- Fang D, Liu X, Yang H, Liu L Evolution for the sustainability of internetware. In: 4th Asia-Pacific Symposium on Internetware, Internetware 2012, Qingdao, 2012. doi:10.1145/2430475.2430492
- Farooq MS, Salam M, Fayolle A, Jaafar N, Ayupp K (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, 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
- Fedorova E, Pongrácz E (2019) Cumulative social effect assessment framework to evaluate the accumulation of social sustainability benefits of regional bioenergy value chains. *Renewable Energy* 131:1073-1088. doi:10.1016/j.renene.2018.07.070

- Fisher M (1999) Process improvement by poka-yoke. *Work Study* 48 (7):264-266. doi:10.1108/00438029910294153
- García-Alcaraz J, Maldonado A, Alvarado Iniesta A, Cortes Robles G, 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-Alcaraz JL, Díaz Reza JR, Sánchez Ramírez C, Limón Romero J, Jiménez Macías E, Lardies CJ, Rodríguez Medina MA (2021a) Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. *Sustainability (Switzerland)* 13 (19). doi:10.3390/su131910599
- García-Alcaraz JL, Flor-Montalvo FJ, Avelar-Sosa L, Sánchez-Ramírez C, Jiménez-Macías E (2019) Human resource abilities and skills in TQM for sustainable enterprises. *Sustainability (Switzerland)* 11 (22). doi:10.3390/su11226488
- García-Alcaraz JL, García ASM, Reza JRD, Rubio SPA, Macias EJ, Medina MAR Lean manufacturing tools for support production process and their impact on economic sustainability. In: Affenzeller M, Bruzzone AG, Jimenez E, Longo F, Petrillo A (eds) 33rd European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2021, 2021b. Dime University of Genoa, pp 355-364. doi:10.46354/i3m.2021.emss.049
- García-Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz-Reza JR, Jiménez Macías E, Javierre Lardies C, Blanco Fernández J (2022a) Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-022-18978-6
- García-Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz-Reza JR, Jiménez Macías E, Javierre Lardies C, Blanco Fernández J (2022b) Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (26):39622-39637. doi:10.1007/s11356-022-18978-6
- García Alcaraz JL, Martínez Hernández FA, Olguín Tiznado JE, Realyvásquez 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):971
- Ghobakhloo M, Fathi M (2020) Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management* 31 (1):1-30. doi:10.1108/JMTM-11-2018-0417
- Goodson RE (2002) Read a plant-fast. *Harvard business review* 80 (5):105-113
- Goshime Y, Kitaw D, Jilcha K (2019) Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction: A literature review on metals and engineering industries. *International Journal of Lean Six Sigma* 10 (2):691-714. doi:10.1108/IJLSS-06-2017-0063
- Green KW, Inman RA, Sower VE, Zelbst PJ (2019a) Impact of JIT, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management* 30 (1):26-47. doi:<https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0015>
- Green KW, Sower VE, Zelbst PJ, Inman RA (2019b) 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
- Gungor ZE, Evans S Addressing environmental and economic impacts of changeover operations through manufacturing strategies. In: Proceedings of 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IEEE IESM 2015, 2016. pp 781-787. doi:<https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380247>
- Gupta SM (2016) Lean manufacturing, green manufacturing and sustainability. *J Jpn Ind Manage Assoc* 67 (2E):102-105

- Haddad T, Shaheen BW, Németh I (2021) Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach. *Manufacturing Technology* 21 (1):56-64. doi:10.21062/mft.2021.006
- Harris C (2019) Batch vs. One-Piece Flow Manufacturing. <https://www.treston.us/blog/batch-vs-one-piece-flow-manufacturing>. Accessed 05-19 2022
- Helleno AL, de Moraes AJI, Simon AT, Helleno AL (2017) Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. *Journal of Cleaner Production* 153:405-416. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.072
- Henao R, Sarache W, Gómez I (2019) Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. *Journal of Cleaner Production* 208:99-116. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.116
- Hernandez-Matias JC, Ocampo JR, Hidalgo A, Vizan A (2019) Lean manufacturing and operational performance: Interrelationships between human-related lean practices. *Journal of Manufacturing Technology Management* 31 (2):217-235. doi:10.1108/JMTM-04-2019-0140
- Hoffman JIE (2019) Chapter 9 - Outliers and Extreme Values. In: Hoffman JIE (ed) *Basic Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners*. 2 edition edn. Academic Press, Boston, MA, USA, pp 149-155. doi:10.1016/B978-0-12-817084-7.00009-7
- Hooi LW, Leong TY (2017) Total productive maintenance and manufacturing performance improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 23 (1):2-21. doi:10.1108/JQME-07-2015-0033
- Huayllasco-Martinez D, Chavez-Ccencho E, Carlos-Peñafiel J, Raymundo C (2022) Lean Manufacturing Model of Production Management Make to Order Based on QRM to Reduce Order Delivery Times in Metal-Mechanical SMEs. 5th International Virtual Conference on Human Interaction and Emerging Technologies, IHiet 2021 and 6th International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies: Future Systems, IHiet-FS 2021, vol 319. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/978-3-030-85540-6_52
- Hwang GH, Jeong SK, Ban YU (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 D, Posavac SS, Kardes FR, Schneider MJ, Popovich DL (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 (2023a) Información Estadística - Importaciones y Exportaciones Empresas de manufactura Importaciones y Exportaciones de Ciudad Juárez. IMMEX, Ciudad Juárez
- IMMEX (2023b) Información Estadística - Información del empleo de la Industria IMMEX en Ciudad Juárez. IMMEX, Ciudad Juárez
- IMMEX (2023c) Statistical Information Monthly - IMMEX companies. Asociación de Maquiladoras A.C., Ciudad Juárez
- Ioana AD, Maria ED, Cristina V Case study regarding the implementation of one-piece flow line in automotive company. In: Moldovan L, Gligor A (eds) *13th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2019, 2020*. Elsevier B.V., pp 244-248. doi:10.1016/j.promfg.2020.03.036
- Islam ASMT (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 N, Hasin AA, Bashar A (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
- Johnson GI, Wilson JR (1988) Future directions and research issues for ergonomics and advanced manufacturing technology (AMT). *Applied Ergonomics* 19 (1):3-8. doi:10.1016/0003-6870(88)90191-3
- Junior RGP, Inácio RH, da Silva IB, Hassui A, Barbosa GF (2022) A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 119 (9-10):6469-6487. doi:10.1007/s00170-021-08534-w
- Kalyar MN, Shafique I, Abid A (2019) Role of lean manufacturing and environmental management practices in eliciting environmental and financial performance: the contingent effect of institutional pressures. *Environmental Science and Pollution Research* 26 (24):24967-24978. doi:10.1007/s11356-019-05729-3
- Karam A-A, Liviu M, Cristina V, Radu H (2018) The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project. *Procedia Manufacturing* 22:886-892. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.125
- Khalfallah M, Lakhall L (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
- Khataie AH, Bulgak AA (2013) A cost of quality decision support model for lean manufacturing: Activity-based costing application. *International Journal of Quality and Reliability Management* 30 (7):751-764. doi:10.1108/IJQRM-Jan-2011-0016
- Kochańska J, Burduk A (2019) Rationalization of retooling process with use of SMED and simulation tools. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 854. doi:10.1007/978-3-319-99993-7_27
- 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
- Lande M, Seth D, Shrivastava RL (2019) Application of graph-theoretic approach for the evaluation of lean-six-sigma (LSS) critical-success-factors (CSFs) facilitating quality-audits in Indian small & medium enterprises (SMEs). *International Journal of Quality and Reliability Management*. doi:10.1108/IJQRM-05-2019-0166
- Latorre-Biel JI, Jiménez-Macías E, Blanco-Fernández J, Martínez-Cámara E, Sáenz-Diez JC, Pérez-Parte M (2015) Decision Support System, Based on the Paradigm of the Petri Nets, for the Design and Operation of a Dairy Plant. *International Journal of Food Engineering*, vol 11. doi:10.1515/ijfe-2015-0063
- Latorre-Biel Juan I, Jiménez E, Pérez M, Leiva FJ, Martínez E, Blanco J (2018) Simulation Model of a Production Facility of *Agaricus bisporus* Mycelium for Decision-Making Support. *International Journal of Food Engineering*, vol 14. doi:10.1515/ijfe-2017-0159
- Leopold K, Kaltenecker S (2015) *Kanban change leadership: Creating a culture of continuous improvement*. John Wiley & Sons,
- Longo M, Mura M, Vagnini C, Zanni S (2021) Sustainability measurement Evolution and methods. In: *Methods in Sustainability Science: Assessment, Prioritization, Improvement, Design and Optimization*. Elsevier, pp 71-86. doi:10.1016/B978-0-12-823987-2.00010-6

- Lopes NR, Filho MG, Ganga GMD, Tortorella GL, Callefi MHBM, De Lima BT (2023) Critical factors for sustaining lean manufacturing in the long-term: a multi-method study. *European Journal of Industrial Engineering* 17 (1):60-89. doi:10.1504/EJIE.2023.10045201
- Lorenzon dos Santos D, Giglio R, Helleno AL, Campos LMS (2019) Environmental aspects in VSM: a study about barriers and drivers. *Production Planning and Control* 30 (15):1239-1249. doi:10.1080/09537287.2019.1605627
- Matzka J, Di Mascolo M, Furmans K (2012) Buffer sizing of a Heijunka Kanban system. *Journal of Intelligent Manufacturing* 23 (1):49-60. doi:10.1007/s10845-009-0317-3
- Maware C, Parsley DM, II (2023) Can Industry 4.0 Assist Lean Manufacturing in Attaining Sustainability over Time? Evidence from the US Organizations. *Sustainability (Switzerland)* 15 (3). doi:10.3390/su15031962
- Miller G, Pawloski J, Standridge C (2010) A case study of lean, sustainable manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management* 3 (1):11-32. doi:10.3926/jiem.2010.v3n1.p11-32
- 10.1287/opre.51.2.336.12785; Womack, J., Jones, D., (2003) *Lean Thinking*, , New York, NY. Free Press
- Morales-García AS, Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL (2021) Effect of TPM and OEE on the Social Performance of Companies. In: Zapata-Cortes JA, Alor-Hernández G, Sánchez-Ramírez C, García-Alcaraz JL (eds) *New Perspectives on Enterprise Decision-Making Applying Artificial Intelligence Techniques*. Springer International Publishing, Cham, pp 119-141. doi:10.1007/978-3-030-71115-3_6
- Myers JS, Kin JM, Billi JE, Burke KG, Harrison RV (2022) Development and validation of an A3 problem-solving assessment tool and self-instructional package for teachers of quality improvement in healthcare. *BMJ Qual Saf* 31 (4):287-296. doi:10.1136/bmjqs-2020-012105
- Narusawa T, Shook J (2009) *Kaizen express: Fundamentals for your lean journey*. Lean Enterprise Institute,
- Nenni ME, Giustiniano L, Pirolo L (2013) Demand forecasting in the fashion industry: a review. *International Journal of Engineering Business Management* 5:37
- Ni W, Sun H (2019) The effect of sustainable supply chain management on business performance: Implications for integrating the entire supply chain in the Chinese manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production* 232:1176-1186. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.384
- O'Rourke D (2014) The science of sustainable supply chains. *Science* 344 (6188):1124-1127. doi:10.1126/science.1248526
- Ojstersek R, Buchmeister B (2020) The impact of manufacturing flexibility and multi-criteria optimization on the sustainability of manufacturing systems. *Symmetry* 12 (1). doi:10.3390/SYM12010157
- Okonkwo CU, Demendonca M Integrating DFE as core course for engineering technology programs. In: 2000 ASEE Annual Conference and Exposition: Engineering Education Beyond the Millenium, St. Louis, MO, 2000. pp 3463-3467
- Paik Y, Teagarden MB (1995) Strategic international human resource management approaches in the maquiladora industry: A comparison of Japanese, Korean and US firms. *The International Journal of Human Resource Management* 6 (3):568-587. doi:10.1080/09585199500000036
- Palange A, Dhattrak P (2021) Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.193

- Parsazadeh N, Ali R, Rezaei M, Tehrani SZ (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
- Pazos P, Canto AM, Powell A The impact of social system factors on sustainability of lean manufacturing: The case of the US and Mexico. In: 30th Annual National Conference of the American Society for Engineering Management 2009, ASEM 2009, Springfield, MO, 2009. pp 224-230
- Pérez-Pucheta CE, Olivares-Benitez E, Minor-Popocatl H, Pacheco-García PF, Pérez-Pucheta MF (2019) Implementation of lean manufacturing to reduce the delivery time of a replacement part to dealers: A case study. *Applied Sciences (Switzerland)* 9 (18). doi:10.3390/app9183932
- Pham DT, Thomas A (2005) Fighting fit factories: Making industry lean, agile and sustainable. *Manufacturing Engineer* 84 (2):24-29. doi:10.1049/me:20050204
- Pham H, Kim S-Y (2019) The effects of sustainable practices and managers' leadership competences on sustainability performance of construction firms. *Sustainable Production and Consumption* 20:1-14. doi:10.1016/j.spc.2019.05.003
- Purwanto C, Jaqin C Improving curing process productivity in the tire industry using OEE, TPM and FMEA methods. In: 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEOM 2021, 2021. IEOM Society, pp 6709-6715
- Reza JRD, García-Alcaraz JL, Medina MAR, Vargas AR, Soto KCA, Macias EG Role of Lean manufacturing tools on economic sustainability in the Mexican manufacturing industry. In: Affenzeller M, Bruzzone AG, Jimenez E, Longo F, Petrillo A (eds) 33rd European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2021, 2021. Dime University of Genoa, pp 365-373. doi:10.46354/i3m.2021.emss.050
- Rivera L, Manotas DF (2013) How to foresee and measure the real economic impact of a lean manufacturing implementation. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol 7. doi:10.1007/978-3-319-00557-7_115
- Robinson H Using Poka-Yoke techniques for early defect detection. In: Sixth International Conference on Software Testing Analysis and Review, 1997. pp 134-145
- Rojas-Castro E, Sotomayor-Leyva Y, Viacava-Campos G A model to increase efficiency in a manufacturing S&ME in the cardboard sector applying SMED, TPM, 5S and JIDOKA. In: Larrondo Petrie MM, Texier J, Pena A, Vilorja JAS (eds) 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology, LACCEI 2022, 2022. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.754
- Romero D, Gaiardelli P, Powell D, Wuest T, Thürer M (2019) Rethinking jidoka systems under automation & learning perspectives in the digital lean manufacturing world. *IFAC-PapersOnLine* 52 (13):899-903. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.309>
- Roosefert Mohan T, Preetha Roselyn J, Annie Uthra R, Devaraj D, Umachandran K (2021) Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery. *Computers & Industrial Engineering* 157:107267. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107267>
- Rosasco P (2018) Economic benefits and costs of vertical greening systems. In: *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Elsevier Inc., pp 291-306. doi:10.1016/B978-0-12-812150-4.00027-6
- Rosasco P, Perini K (2018) Evaluating the economic sustainability of a vertical greening system: A Cost-Benefit Analysis of a pilot project in mediterranean area. *Building and Environment* 142:524-533. doi:10.1016/j.buildenv.2018.06.017

- Saengchai S, Jernsittiparsert K (2019) The mediating role of supplier network, the moderating role of flexible resources in the relationship between lean manufacturing practices and the organizational performance. *Humanities and Social Sciences Reviews* 7 (3):720-727. doi:10.18510/hssr.2019.723103
- Sahoo S (2019a) Assessment of TPM and TQM practices on business performance: a multi-sector analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 25 (3):412-434. doi:10.1108/JQME-06-2018-0048
- Sahoo S (2019b) Lean manufacturing practices and performance: the role of social and technical factors. *International Journal of Quality and Reliability Management* 37 (5):732-754. doi:10.1108/IJQRM-03-2019-0099
- Sakthi Nagaraj T, Jeyapaul R (2020) An empirical investigation on association between human factors, ergonomics and lean manufacturing. *Production Planning and Control*. doi:10.1080/09537287.2020.1810815
- Samadhiya A, Agrawal R Achieving sustainability through holistic maintenance-key for competitiveness. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2020. pp 400-408
- Sarkar A, Azim JA, Asif AA, Qian L, Peau AK (2021) Structural equation modeling for indicators of sustainable agriculture: Prospective of a developing country's agriculture. *Land Use Policy* 109:105638. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105638
- Scott AL (2005) Lean manufacturing in the mill room - Improve efficiencies, decrease costs and improve quality. *Rubber World* 231 (6):20-21+42
- Seppänen O A comparison of takt time and LBMS planning methods. In: *Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*, 2014. pp 23-27
- Sethi P, Chakrabarti D, 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
- Shammout AB, Jawazneh AK (2022) The Effect of Implementing Total Quality Management (TQM) on the Performance of Employees: A Field Study on Private Service Organizations in Amman. *Jordan J Bus Adm* 18 (1):71-87
- Sharma S, Geerlings H (2017) Sustainability benefits assessment in urban transport project appraisal: A new method of transport project appraisal. *Green Energy and Technology*, vol 0. Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-319-44899-2_11
- Sharma SS, Shukla DD, Sharma BP (2019) Analysis of lean manufacturing implementation in SMEs: A "5S" technique. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. doi:10.1007/978-981-13-6412-9_46
- Silva C, Vaz P, Ferreira LM The impact of lean manufacturing on environmental and social sustainability: A study using a concept mapping approach. In, 2013. IFAC Secretariat, pp 306-310. doi:10.3182/20130911-3-BR-3021.00080
- Silvia CP, Benigno RG, Yomar GC, Leonardo BA, José HC Validation of an instrument to determine the technical characteristics of an urban biodigester through the market segmentation technique. In: Larrondo Petrie MM, Texier J, Pena A, Vilorio JAS (eds) *20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology, LACCEI 2022*, 2022. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.3
- Singh R, Gohil AM, Shah DB, Desai S (2013) Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering* 51:592-599. doi:10.1016/j.proeng.2013.01.084

- Singh S, Khamba JS, Singh D (2021) Analysis and directions of OEE and its integration with different strategic tools. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering* 235 (2):594-605
- Sonmez V, 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
- Sun Y, Du J (2018) Simulation of one-piece flow garment assembly line based on Flexsim software. *Fangzhi Xuebao/J Text Res* 39 (6):155-161 and 166. doi:10.13475/j.fzxb.20170703008
- Suryaprakash M, Gomathi Prabha M, Yuvaraja M, Rishi Revanth RV (2020) Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.02.820
- Tang H (2019) A new method of bottleneck analysis for manufacturing systems. *Manufacturing Letters* 19:21-24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.01.003>
- Tarigan U, Tarigan UPP, Sukirman V Integration of Lean Manufacturing and Group Technology Layout to increase production speed in the Manufacture of Furniture. In: 11th International Seminar on Industrial Engineering and Management: Technology and Innovation Challenges Towards Industry 4.0 Era, ISIEM 2018, 2019. Institute of Physics Publishing. doi:10.1088/1757-899X/528/1/012058
- Tekin M, Arslandere M, Etlioğlu M, Koyuncuoğlu Ö, Tekin E An Application of SMED and Jidoka in Lean Production. In: Durakbasa NM, Gencyilmaz MG (eds) *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018, Cham, 2019// 2019*. Springer International Publishing, pp 530-545
- Tezel B, Aziz Z (2017) From conventional to IT based visual management: a conceptual discussion for lean construction. *Journal of information technology in construction* 22:220-246
- Thomaz JPCF, Bispo HIN (2022) Lean manufacturing and industry 4.0/5.0: Applied research in the Portuguese cork industry. In: *Increasing Supply Chain Performance in Digital Society*. IGI Global, pp 101-130. doi:10.4018/978-1-7998-9715-6.ch006
- Tomasic R, Xiong P (2016) Globalization, legal culture, and the handling of Sino-Australian commercial disputes. *Chin J Comp Law* 4 (1):149-171. doi:10.1093/cjcl/cxw002
- Tominaga R, Sekiguchi M, Yonemoto K, Kakuma T, Konno S-i (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
- Tommelein ID Collaborative takt time planning of non-repetitive work. In: *Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2017*.
- Tortorella G, Cauchick-Miguel PA, Gaiardelli P (2019) Hoshin Kanri and A3: a proposal for integrating variability into the policy deployment process. *TQM Journal* 31 (2):118-135. doi:10.1108/TQM-06-2018-0076
- Tripathi V, Saraswat S, Gautam GD, Singh D (2022) Shop Floor Productivity Enhancement Using a Modified Lean Manufacturing Approach. *International Conference on Advances in Sustainable Technologies, ICAST 2020*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/978-981-16-3135-1_23
- ul Haq S, Boz I (2020) Measuring environmental, economic, and social sustainability index of tea farms in Rize Province, Turkey. *Environment, Development and Sustainability* 22 (3):2545-2567. doi:10.1007/s10668-019-00310-x
- Velázquez L, Munguía N, De Los Ángeles Navarrete M, Zavala A (2006) An overview of sustainability practices at the maquiladora industry in Mexico. *Management of*

- Environmental Quality: An International Journal 17 (4):478-489. doi:10.1108/14777830610670535
- Velazquez L, Munguia N, Zavala A, Esquer J, Will M, Delakowitz B (2014) Cleaner production and pollution prevention at the electronic and electric Mexican maquiladora. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 25 (5):600-614. doi:10.1108/MEQ-02-2013-0011
- Velumani S, Tang H (2017) Operations Status and Bottleneck Analysis and Improvement of a Batch Process Manufacturing Line Using Discrete Event Simulation. *Procedia Manufacturing* 10:100-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.033>
- Verrier B, Rose B, Caillaud E, Remita H (2014) Combining organizational performance with sustainable development issues: The Lean and Green project benchmarking repository. *Journal of Cleaner Production* 85:83-93. doi:10.1016/j.jclepro.2013.12.023
- Vijay S, Gomathi Prabha M (2020) Work standardization and line balancing in a windmill gearbox manufacturing cell: A case study. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.08.584
- Villalba-Diez J, Gutierrez M, Grijalvo Martín M, Sterkenburgh T, Carlos Losada J, María Benito R (2021) Quantum jidoka. Integration of quantum simulation on a cnc machine for in-process control visualization. *Sensors* 21 (15). doi:10.3390/s21155031
- Vinodh S, Arvind KR, Somanaathan M (2011) Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean Technologies and Environmental Policy* 13 (3):469-479. doi:10.1007/s10098-010-0329-x
- Wang C, Kao JH, Thakur SK (2012) Implementation of the lean model for carrying out value stream mapping and SMED in the aerospace engine case production. *Advanced Materials Research*, vol 542-543. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.542-543.302
- Wijaya S, Hariyadi S, Debora F, Supriadi G (2020) Design and implementation of poka-yoke system in stationary spot-welding production line utilizing internet-of-things platform. *Journal of ICT Research and Applications* 14 (1):34-50. doi:10.5614/itbj.ict.res.appl.2020.14.1.3
- Wu J (2011) Globalization and emerging office and commercial landscapes in Shanghai. *Urban Geogr* 32 (4):511-530. doi:10.2747/0272-3638.32.4.511
- Wu L, Ma T, Bian Y, Li S, Yi Z (2020) Improvement of regional environmental quality: Government environmental governance and public participation. *Science of the Total Environment* 717. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137265
- Yang MG, Hong P, Modi SB (2011) Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics* 129 (2):251-261. doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.017
- Yazdi PG, Azizi A, 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
- Younus A, Pervez H, Ali Y, Khan AU (2020) Impact of Lean, Six Sigma and environmental sustainability on the performance of SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management* ahead-of-print (ahead-of-print). doi:10.1108/IJPPM-11-2019-0528
- Zhang Q, Tang W, Zhang J (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
- Zhang T, Sun B, Li W, Zhou H (2022) Information communication technology and manufacturing decentralisation in China. *Pap Reg Sci* 101 (3):619-637. doi:10.1111/pirs.12660

SECCIÓN IV. ANEXOS – ARTÍCULOS PUBLICADOS

ANEXO 1

Publicación 1. García-Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz-Reza JR, Jiménez Macías E, Javierre Lardies C, Blanco Fernández J (2022) Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (26):39622-39637. doi:10.1007/s11356-022-18978-6. Factor de impacto 5.190, Categoría ENVIRONMENTAL SCIENCES – SCIE Q2, 87/279).

ANEXO 2

Publicación 2. García-Alcaraz JL, Reza RD, Macías EJ, Vidal RPI, Montalvo FJF, Ledesma AST (2022) Effect of the Sustainable Supply Chain on Business Performance— The Maquiladora Experience. IEEE Access 10:40829-40842. doi:10.1109/ACCESS.2022.3166193 (factor de impacto 3.476, categorías TELECOMMUNICATIONS – SCIE Q2 79/164, COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS – SCIE Q2 105/276, ENGINEERING, ELECTRICAL & ELECTRONIC – SCIE Q2 43/93).

ANEXO 3

Publicación 3. García Alcaraz JL, Díaz Reza JR, Arredondo Soto KC, Hernández Escobedo G, Happonen A, Puig I Vidal R, Jiménez Macías E (2022a) Effect of Green Supply Chain Management Practices on Environmental Performance: Case of Mexican Manufacturing Companies. *Mathematics* 10 (11). doi:10.3390/math10111877 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333)

ANEXO 4

Publicación 4. García Alcaraz JL, Morales García AS, Díaz Reza JR, Blanco Fernández J, Jiménez Macías E, Puig i Vidal R (2022b) Machinery Lean Manufacturing Tools for Improved Sustainability: The Mexican Maquiladora Industry Experience. Mathematics 10 (9):1468. doi:10.3390/math10091468 (Factor de impacto 2.592, categoría MATHEMATICS – SCIE Q1, 21/333)

ANEXO 5

Publicación 5. Díaz-Reza JR, García-Alcaraz JL, Figueroa LJM, Vidal RP, Muro JCSD (2022) Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 123 (3-4):1269-1284. doi:10.1007/s00170-022-10208-0 (Factor de impacto 3.563, categorías ENGINEERING, MANUFACTURING – SCIE Q2, 28/65, AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS – SCIE Q2, 25/51).

APÉNDICE A

Encuesta de Herramientas de Lean Manufacturing y la Sustentabilidad

Actualmente, la eficiencia y la eficacia son fundamentales para tener resultados favorables y lograr un crecimiento exitoso para cualquier empresa. La implementación de las herramientas de Lean Manufacturing (LM) se convierten en un pilar esencial para la gestión de anomalías relacionadas con la calidad, costes, generación de residuos y tiempos del proceso. Aplicando conjuntamente los principios de LM a través de las herramientas necesarias, LM también favorece una filosofía de liderazgo, trabajo en equipo y resolución de problemas, lo que guía hacia la mejora continua en toda la empresa.

El objetivo de este cuestionario es determinar el nivel de implementación que tienen ciertas actividades que favorecen la ejecución de las herramientas de LM y los beneficios que generan en la sustentabilidad. Por tal motivo, se solicita su colaboración para responderlas de acuerdo con la escala que se indica y con la mayor veracidad posible.

Es importante mencionar que este cuestionario ha sido aprobado por el Comité de Ética en la Investigación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y que, como investigadores, nos comprometemos a lo siguiente:

1. Todos los datos proporcionados en el presente cuestionario estarán protegidos bajo la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de julio de 2010 (DOF 05-07-2010) y nunca serán transmitidos a terceras personas o instituciones de manera bruta.
2. Si usted acepta participar en este estudio está dando su consentimiento explícito para que sus respuestas anónimas a este cuestionario sean tratadas de manera agregada con fines estadísticos grupales y nunca de manera particular.
3. En el futuro, los análisis grupales realizados (no individuales o particulares), así como el código fuente utilizado para analizarlos, estarán disponibles en el siguiente repositorio de Figshare <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19999490.v1> con el objetivo de favorecer la transparencia científica y la replicabilidad de los resultados del estudio.

Conociendo lo anterior, ¿está usted de acuerdo en participar? ■ SI ■ NO

Sección I: Información demográfica

¿Años de experiencia en su puesto de trabajo?					
0 to <1	1 to <2	2 to <5	5 to <10	>=	
Gender			Mujer	Hombre	
Puesto de trabajo		Gerente	Ingeniero	Supervisor	Other
Industrial Sector					
[1] Automotriz [2] Aeronáutico [3] Eléctrico [4] Electrónica [5] Logística [6] Maquinado [7] Médico [8] Caucho y Plásticos [9] Textiles and clothing [10] Other					
Tamaño de la empresa (número de trabajadores)					
<50	50 to <300	300 to <1000	1,000 to <5,000	5,000 to <10,000	>10,000

Nota. Para cada una de las siguientes acciones, califique de acuerdo con la siguiente escala el nivel de ejecución de las mismas.

Número	1	2	3	4	5
Significado	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

I. Kaizen (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
KAI1	El responsable está atento a la forma de trabajar en su área.					
KAI2	Durante el día, ¿se toman muestras en su área de producción?					
KAI3	Durante el día, ¿toman tiempo en su área de trabajo?					
KAI4	¿Modifican continuamente los procesos en su área de producción?					
KAI5	¿Han implementado mejoras en los procesos con los que usted tiene contacto?					
KAI6	El porcentaje anual de desechos muestra una tendencia a la baja.					
KAI7	La productividad laboral muestra una tendencia al alza a lo largo del tiempo.					

II. Flujo de una sola pieza (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
FUP1	¿Se utiliza el sistema Kanban para autorizar la producción?					
FUP2	¿La producción en un puesto de trabajo concreto se basa en la demanda actual de su puesto de trabajo posterior?					
FUP3	¿Se fabrica un lote de producción sólo si tiene la orden de compra del cliente?					
FUP4	¿Se fabrica sólo la cantidad específica solicitada por el cliente?					
FUP5	¿Las estaciones de trabajo hacen un buen uso del sistema pull?					
FUP6	La inversión en inventario muestra una tendencia decreciente a lo largo del tiempo.					
FUP7	Los plazos de producción, así como los tiempos de preparación, se reducen/acortan con el tiempo.					

III. Jidoka (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
JID1	¿La maquinaria avisa cuando una pieza no cumple los requisitos?					
JID2	¿Se detiene la maquinaria automáticamente cuando detecta un error en el proceso?					
JID3	¿Se utilizan máquinas pequeñas para garantizar un flujo rápido y uniforme de los materiales?					
JID4	¿Tienen los operarios autoridad para detener la máquina en caso de problemas?					
JID5	¿Se utiliza el control visual para evaluar el estado de los procesos de producción?					
JID6	Cuando se produce un fallo, ¿puede cada miembro obtener información específica para seguir avanzando dentro del calendario del programa?					

IV. Poka-Yoke (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
PKY1	¿La maquinaria usada separa las piezas buenas de las malas?					
PKY2	¿La maquinaria evita cometer errores?					

PKY3	¿No hay devoluciones de clientes por fallos del producto?					
PKY4	¿Se utilizan poka-yokes para evitar errores?(Dudek-Burlikowska and					
PKY5	¿Se utilizan los poka-yokes para realizar un control que determine la aceptación o el rechazo del producto?(Dudek-Burlikowska and Szewieczek					
PKY6	Cuando se detecta un defecto, ¿se detienen las líneas de producción o el proceso para realizar correcciones inmediatamente? (Dudek-Burlikowska and					
PKY7	¿Se utilizan sonidos, lámparas u otra señal de aviso para informar de la aparición de un error? (Dudek-Burlikowska and Szewieczek 2009)					

V. Gestión Visual (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
VIM1	¿Tiene siempre la información que necesita para hacer su trabajo?					
VIM2	¿Es fácil decidir qué cambios hacer después de ver los paneles visuales?					
VIM3	¿Se utilizan herramientas visuales prácticas para proporcionar información de calidad (necesaria, relevante, correcta, inmediata, fácil de entender y estimulante)? (Eaidgah et al. 2016)					
VIM4	¿Se comunican las métricas, los objetivos y el rendimiento actual de forma sencilla y abierta? (Eaidgah et al. 2016)					
VIM5	¿Están a la vista todas las herramientas, piezas, actividades de producción e indicadores de rendimiento del sistema de producción? (Narusawa and Shook 2009)					
VIM6	¿Se proporcionan señales e indicadores visuales para guiar a los empleados hacia las tareas y ubicaciones adecuadas? (Goodson 2002)					
VIM7	¿Está la visualización de la información integrada en los elementos del proceso (espacio, maquinaria, equipos, componentes, materiales, herramientas)?(Tezel and Aziz 2017)					

VI. Kanban (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
KAN1	¿Siempre se sabe cuánto hay que producir?					
KAN2	¿No se fabrica o transporta el producto sin su orden de fabricación?					
KAN3	¿Cada solicitud de fabricación de un producto va siempre acompañada de su orden oficial?					
KAN4	¿Es pequeño el inventario del producto final que se maneja en la empresa?					
KAN5	¿Existen indicadores que avisen cuando hay que dejar de producir un lote?					
KAN6	¿Se utiliza Kanban para señalar a la operación posterior que una tarea ha finalizado y que es necesario reponer componentes o material para seguir trabajando?(Leopold and Kaltenecker 2015)					

VII. Gestión de la demanda (Planeación)		Valoración				
		1	2	3	4	5
DEM1	¿Dispone de modelos para pronosticar la demanda?					
DEM2	¿Ha eliminado demasiado inventario debido a un mal pronóstico?					
DEM3	¿Se ha quedado sin existencias debido a un mal pronóstico?(Nenni et					
DEM4	¿Ha tenido un nivel de servicio bajo debido a una previsión errónea?(Nenni et al. 2013)					
DEM5	¿Ha caído en la obsolescencia del producto debido a un mal					

VIII. Heijunka (Planeación)		Valoración				
		1	2	3	4	5
HEI1	La demanda que tenemos está siempre satisfecha					
HEI2	¿La carga de trabajo se ajusta a la capacidad de las máquinas? (Matzka et al.					
HEI3	¿La carga de trabajo se ajusta a la capacidad de los operarios? (Matzka et al.					
HEI4	¿Los proveedores se adaptan a nuestro ritmo de producción? (Matzka et al.					
HEI5	¿Se utiliza el Takt-time para sincronizar el ritmo de producción con el ritmo de ventas? (Matzka et al. 2012)					
HEI6	¿Se nivela la mezcla de productos utilizando la misma secuencia de productos para cada ciclo de producción? (Matzka et al. 2012)					
HEI7	¿La secuencia de producción se realiza en lotes pequeños?(Matzka et al. 2012)					

IX. Just in Time (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
JIT1	Los niveles de inventario son bajos en todo el proceso.					
JIT2	El flujo interno de materiales es eficiente y continuo entre las operaciones.					
JIT3	La reelaboración del producto se reduce a un mínimo aceptable.					
JIT4	Se fomenta la aplicación de mejoras para reducir los desperdicios.					
JIT5	Se minimiza el transporte de materiales.					
JIT6	Se identifican los desperdicios en el proceso de producción y en la cadena de suministro.					

X. Takt Time (Planeación)		Valoración				
		1	2	3	4	5
TAT1	¿Los tiempos de producción cambian constantemente?					
TAT2	¿Están establecidas las diferentes estaciones de trabajo?					
TAT3	¿No hay retrasos entre una estación y otra?					
TAT4	¿Coincide el ritmo de producción con el ritmo de la demanda? (Seppänen					
TAT5	¿Las líneas de producción funcionan con un flujo continuo? (Tommelein 2017)					
TAT6	Dentro de una célula. ¿La capacidad de las máquinas coincide con el Takt-Time de la operación de la célula? (Tommelein 2017)					
TAT7	¿Está la carga de trabajo de los operarios ajustada para que puedan terminar el trabajo dentro del takt time? (Tommelein 2017)					

XI. Análisis de cuello de botella (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
ACB1	¿Todas las estaciones de producción trabajan con el mismo Takt-Time?					
ACB2	Si algún área se retrasa en su proceso, ¿se asigna ayuda para acelerarlo?					
ACB3	¿Los responsables controlan que se cumplan los tiempos de producción?					
ACB4	¿Se cumplen a tiempo los órdenes de producción de cada estación?					
ACB5	Cuando existe un cuello de botella, ¿se identifica fácilmente? (Tang 2019)					
ACB6	¿La cantidad de existencias en el proceso identifica los cuellos de botella?					

XII. Andon (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
AND1	¿Existe un sistema de control visual de buena calidad?					
AND2	¿Se utiliza correctamente el control visual cuando el sistema lo requiere?					
AND3	¿Es fácil notificar al departamento correspondiente una alerta en el proceso de producción?					
AND4	¿Está el botón para enviar una alerta al alcance del operario?					

AND5	¿Es breve el tiempo de respuesta tras el envío de una alerta?					
AND6	¿Se utiliza algún indicador (luminoso, sonoro) para que el operario pueda intervenir en caso de anomalía? (Tekin et al. 2019)					

XIII.	Gemba (Calidad)	Valoración				
		1	2	3	4	5
GEM1	¿Observan los directivos constantemente los procesos en funcionamiento?					
GEM2	¿Los directivos hacen preguntas sobre el funcionamiento del proceso?					
GEM3	¿Hay reuniones continuas para conocer el estado de la empresa?					
GEM4	¿Preguntan cómo funciona la maquinaria y piden la opinión de los operarios para mejorar el proceso?					
GEM5	¿Realizan mejoras continuas, según las propuestas de los trabajadores?					

XIV.	Hoshin Kanri (Planeación)	Valoración				
		1	2	3	4	5
HOK1	¿Conocen todos los empleados los objetivos estratégicos de la empresa?					
HOK2	¿Todos los empleados trabajan con los mismos objetivos?					
HOK3	¿Conocen los empleados los niveles de gestión que existen en la empresa?					
HOK4	¿Conocen los empleados la importancia de alcanzar los objetivos?					
HOK5	¿Los empleados trabajan en equipo para superar los imprevistos que surgen en los procesos?					

XV.	Overall equipment effectiveness (Máquinas)	Valoración				
		1	2	3	4	5
OEE1	¿Es el departamento de producción altamente productivo?					
OEE2	¿Conoce el porcentaje de productividad de cada área de producción?					
OEE3	¿Se cumple el objetivo de producción en el tiempo estipulado y tiene siempre la calidad requerida?					
OEE4	¿No hay residuos en el proceso de producción?					
OEE5	¿No hay paradas significativas en el proceso de producción?					

XVI.	Manufactura celular (Organización de la producción)	Valoración				
		1	2	3	4	5
MAC1	¿Puede modificarse la secuencia del flujo de materiales en caso de avería de una máquina?					
MAC2	¿Están las máquinas a una distancia aceptable entre sí?					
MAC3	¿Puede cambiarse fácilmente el diseño de los puestos de trabajo, en función de la secuencia de operaciones necesaria para fabricar el producto?					
MAC4	¿Están las instalaciones de producción cerca unas de otras, minimizando así la manipulación de materiales?					
MAC5	¿Pueden trasladarse fácilmente las máquinas de sobremesa de un puesto de trabajo a otro?					

XVII.	Mantenimiento Productivo Total (Máquinas)	Valoración				
		1	2	3	4	5
TPM1	Nos aseguramos de que las máquinas estén siempre en un alto estado de preparación para la producción.					

TPM2	Dedicamos inspecciones periódicas para mantener las máquinas en funcionamiento.					
TPM3	Disponemos de un sistema de sonido de mantenimiento diario para prevenir fallos en las máquinas.					
TPM4	Limpiamos escrupulosamente los espacios de trabajo (incluidas las máquinas y los equipos) para evitar que se produzcan acontecimientos inusuales					
TPM5	Tenemos una hora concreta reservada cada día para las actividades de mantenimiento.					
TPM6	Los operarios reciben formación para mantener las máquinas en funcionamiento.					
TPM7	Destacamos el excelente sistema de mantenimiento como estrategia para lograr el cumplimiento de la calidad.					

XVIII. Total Quality Management (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
TQM1	Contamos con equipos de trabajo en los que participan diferentes niveles jerárquicos de la empresa para garantizar la calidad.					
TQM2	En todas las operaciones se promueve la gestión participativa orientada a la mejora continua.					
TQM3	Se promueve el concepto de calidad total desde la adquisición de materias primas hasta el servicio postventa al cliente.					
TQM4	La toma de decisiones para mejorar se justifica con hechos y datos.					
TQM5	La organización se centra en satisfacer las necesidades de los clientes, implicando a los colaboradores para conseguir un producto de calidad.					
TQM6	Existen planes y programas de calidad claros en toda la empresa.					

XIX. Análisis de causa raíz (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
RCA1	Cuando se detecta un problema, se reúne un equipo de trabajo para analizarlo.					
RCA2	Se aplican métodos de análisis y solución de problemas para identificar la causa del problema.					
RCA3	Se crea un diagrama en el que se sigue la ruta de causas y efectos desde el resultado hasta la causa raíz.					
RCA4	Una vez resuelto el problema, se dejan pruebas documentadas de la causa raíz y su solución.					
RCA5	Se diseñan planes para evitar la repetición de los problemas, incluyendo mejoras en el mantenimiento preventivo de la maquinaria o en la formación del personal operativo.					

XX. Value Stream Mapping (Planeación)		Valoración				
		1	2	3	4	5
VSM1	Se dispone de mapas que indican el flujo de materiales, información, operaciones, etc.					
VSM2	La identificación de las actividades que no generan valor al producto está motivada para eliminarlas.					
VSM3	El flujo de comunicación es adecuado con proveedores y clientes.					
VSM4	Un diagrama de flujo describe con precisión las actividades a realizar, que se analizan para crear un diagrama de flujo objetivo.					

VSM5	Se identifican los desperdicio en el proceso de producción y en la cadena de suministro.					
VSM6	La comunicación en la SC es influyente entre los miembros y no detiene los procesos.					

XXI. Auditorías Lean (Organización)		Valoración				
		1	2	3	4	5
LEA1	La empresa cuenta con una o varias personas para supervisar las actividades de Lean Manufacturing.					
LEA2	Se realizan recorridos por el área de trabajo para hacer un seguimiento de los planes y programas.					
LEA3	El auditor lean es una persona dispuesta a escuchar y ayudar en la resolución de problemas.					
LEA4	Existe una cultura de las 5S y se hace un seguimiento de las normas de trabajo.					
LEA5	La auditoría se aplica a todos los procesos de producción y administrativos.					
LEA6	Se planifican tareas o miniproyectos de principio a fin para hacer un seguimiento de las etapas críticas de la auditoría.					
LEA7	Se siguen las normas ISO 2000 para cumplir los sistemas de calidad.					

XXII. Cambios Rápidos (Flujo de materiales)		Valoración				
		1	2	3	4	5
SMED1	Los cambios entre modelos o el tiempo de preparación son pequeños.					
SMED2	La empresa puede manejar la producción de lotes pequeños.					
SMED3	Algunos grupos de trabajo buscan hacer más eficientes los cambios de modelo y reducir los tiempos de preparación.					
SMED4	Las máquinas y herramientas facilitan los cambios rápidos.					
SMED5	Se dispone de las herramientas adecuadas para cada cambio de modelo.					
SMED6	Se implementa la herramienta SMED para ayudar a los cambios rápidos.					
SMED7	El procedimiento para los cambios de modelo está estandarizado.					

XXIII. Hacerlo bien a la primera (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
RFT1	La disminución de los residuos se señala como una ventaja de hacer bien las tareas.					
RFT2	Se cumplen las expectativas del cliente en cuanto a calidad y plazos de entrega.					
RFT3	Se utilizan con frecuencia dispositivos de fijación rápida, pomos de estrella y palancas de bloqueo.					
RFT4	Los calibradores de verificación se montan en las máquinas o en el puesto de trabajo y son fácilmente reemplazables.					
RFT5	La sustitución de una máquina o equipo que funcione mal es fácil.					
RFT6	Existe una actitud positiva por parte de los trabajadores y la dirección para la reconfiguración de los diseños y los cambios.					

XXIV. Seis grandes pérdidas (Producción)		Valoración				
		1	2	3	4	5
SBL1	Se reduce el tiempo de inactividad de la maquinaria debido a las averías.					
SBL2	Los ajustes de la maquinaria son frecuentes y rápidos.					
SBL3	La maquinaria funciona a una velocidad inferior a la que está diseñada.					
SBL4	Se eliminan o reducen los defectos de calidad del producto.					

SBL5	Se eliminan o reducen las paradas cortas de la maquinaria a lo largo del turno.					
SBL6	El rendimiento de los equipos es ideal para su capacidad.					
SBL7	El tiempo productivo de las máquinas y los operarios es el adecuado.					

XXV. Objetivos inteligentes (Producción)		Valoración				
		1	2	3	4	5
SMG1	Los objetivos de la empresa son específicos y están bien definidos.					
SMG2	Los objetivos de la empresa son medibles o tangibles.					
SMG3	Los objetivos de la empresa son alcanzables en un periodo corto.					
SMG4	Los objetivos de la empresa son realistas para evitar la frustración de los operarios.					
SMG5	Los objetivos de la empresa tienen un límite de tiempo para ser alcanzados.					

XXVI. KPIs " Indicadores clave de rendimiento." (Producción)		Valoración				
		1	2	3	4	5
KPI1	La empresa dispone de indicadores para medir su rendimiento.					
KPI2	Las métricas se revisan en períodos preestablecidos.					
KPI3	Las métricas evalúan los factores relevantes o críticos para la empresa.					
KPI4	Los empleados conocen los índices de rendimiento de la empresa.					
KPI5	Las decisiones relacionadas con los sistemas de producción se basan en los KPI.					
KPI6	Los KPI son visibles en toda la organización para evaluar el grado de cumplimiento del plan estratégico.					
KPI7	La organización puede comparar periódicamente el rendimiento actual con el objetivo mediante los KPI.					

XXVII. 5S (Base)		Valoración				
		1	2	3	4	5
5SM1	Se crean equipos de trabajo para formarles en el uso de las 5S antes de su implantación.					
5SM2	El área de trabajo se ordena y se limpia con frecuencia.					
5SM3	Tras la limpieza, se establece una norma u objetivo sobre cómo debe mantenerse el área de trabajo.					
5SM4	Se realizan auditorías para garantizar que el área de trabajo se mantiene limpia y ordenada.					
5SM5	Se exponen los logros obtenidos tras la aplicación de las 5S.					
5SM6	El método se documenta y estandariza mediante procedimientos que deben ser claros y fáciles de entender.					

XXVIII. Resolución de problemas A3 (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
A3PS1	Las técnicas de análisis se utilizan para resolver problemas como los cinco porqués.					
A3PS2	Se identifican los problemas que hay que resolver y se conoce la causa raíz de los mismos.					
A3PS3	El flujo de comunicación es evidente en la estructura organizativa.					
A3PS4	La redacción del informe se realiza en una sola página, que contiene texto e imágenes, diagramas y gráficos que enriquecen y aclaran los datos.					
A3PS5	La redacción del informe se basa principalmente en el PDCA.					

A3PS6	El informe contiene información de fondo, un diagrama de la situación actual, la condición objetivo y un análisis de la causa raíz.					
A3PS7	Se realiza un seguimiento/auditoría, los resultados del plan de auditoría y, si es necesario, recomendaciones sobre cómo los informes A3 posteriores se convertirán en trabajo estándar.					

XXIX. PDCA (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
PDCA1	Se identifican y priorizan las oportunidades de mejora de la calidad.					
PDCA2	Se describen y recogen los datos del proceso actual.					
PDCA3	Se elabora un plan de acción.					
PDCA4	La ejecución de los planes se lleva a cabo siguiendo lo establecido.					
PDCA5	Una vez ejecutado el plan, se realiza una evaluación.					
PDCA6	Se extraen conclusiones para mejorar la planificación posterior.					
PDCA7	Una vez finalizado el ciclo de planificación, se inicia de nuevo la aplicación de las mejoras propuestas.					

XXX. Trabajo estandarizado (Base)		Valoración				
		1	2	3	4	5
STW1	Se define el Takt time, así como los tiempos de ciclo.					
STW2	Se dispone de diagramas de flujo del proceso estandarizados.					
STW3	Se determinan las secuencias y los tiempos de cada operación.					
STW4	Se conoce el inventario mínimo y máximo que debe existir en cada puesto de trabajo.					
STW5	Existen ayudas visuales que ayudan a tener un proceso estandarizado.					
STW6	El personal sigue los métodos que han sido la mejor opción hasta ese momento.					

XXXI. 5 Por qué's (Calidad)		Valoración				
		1	2	3	4	5
WHY1	Existen metodologías para la identificación y el análisis de los problemas y su causa raíz.					
WHY2	El problema se resuelve sin investigar quién lo ha causado.					
WHY3	Cuando se produce un problema, se suele preguntar por qué ha ocurrido.					
WHY4	Cuando se produce un problema, nos preguntamos cinco veces por qué para encontrar la causa raíz que lo ha provocado.					
WHY5	Una vez encontrada la causa raíz del problema presentado, se toman rápidamente medidas para resolverlo.					
WHY6	Por cada cinco porqués, se propone un cómo resolverlo.					

XXXII. Equipos Multifuncionales (RH)		Valoración				
		1	2	3	4	5
MUT1	La formación cruzada de los trabajadores es una característica habitual.					
MUT2	La capacitación de los trabajadores es suficiente.					
MUT3	Los proyectos se finalizan con el consentimiento de expertos de diversas áreas.					
MUT4	El concepto de círculo de calidad se utiliza de forma integral.					

XXXIII. Descentralización (Producción)		Valoración				
		1	2	3	4	5
DEC1	La autoridad y la responsabilidad se delegan también en los niveles inferiores.					
DEC2	El poder financiero también se delega en los distintos niveles.					
DEC3	La carga de trabajo se distribuye equitativamente en los distintos niveles y se estructura.					
DEC4	La autoridad y la responsabilidad se comunican y publican.					

XXXIV. Integración de funciones (RH)		Valoración				
		1	2	3	4	5
INF1	La integración de los productos se realiza con regularidad.					
INF2	La política de calidad se integra con las funciones de producción.					
INF3	Los objetivos de calidad se integran con los objetivos de producción.					
INF4	Las diferentes operaciones se integran con regularidad.					

XXXV. Sistemas de información vertical (VIS) (RH)		Valoración				
		1	2	3	4	5
VIS1	La información fluye sólo de arriba a abajo.					
VIS2	La información fluye sólo de abajo hacia arriba.					
VIS3	La información fluye en ambas direcciones, de arriba a abajo y de abajo a arriba.					

XXXVI.	Sustentabilidad económica (Beneficios)	Valoración				
		1	2	3	4	5
ECS1	Reducción de los costes de producción					
ECS2	Mejora de los beneficios					
ECS3	Reducción de los costes de desarrollo de productos					
ECS4	Disminución de los costes de energía					
ECS5	Reducción de los costes de inventario					
ECS6	Reducción de los costes de los rechazos y retrabajos					
ECS7	Disminución de los costes de las materias primas					
ECS8	Disminución de los costes de tratamiento de residuos					
ECS9	Reducción de las sanciones administrativas por percances medioambientales					

XXXVII.	Sustentabilidad Social (SS) (Beneficios)	Valoración				
		1	2	3	4	5
SOS1	Mejora de las condiciones de trabajo					
SOS2	Mejora de la seguridad en el lugar de trabajo					
SOS3	Mejora de la salud de los empleados					
SOS4	Mejora de las relaciones laborales					
SOS5	Mejora de la moral					
SOS6	Disminución de la presión laboral					
SOS7	Mejora de la salud y la seguridad de la comunidad					
SOS8	Se han proporcionado incentivos para contratar empleo local.					
SOS9	Se han puesto en marcha programas sociales para apoyar a la sociedad					

XXXVIII	Sustentabilidad Ambiental (SA) (Beneficios)	Valoración				
		1	2	3	4	5

ENS1	Reducción de los residuos sólidos					
ENS2	Reducción de los residuos líquidos					
ENS3	Reducción de las emisiones de gases					
ENS4	Reducción de los residuos energéticos					
ENS5	Reducción del consumo de materiales peligrosos/nocivos/tóxicos					
ENS6	Mejora de la situación medioambiental de la organización					
ENS7	Existen programas de reciclaje de materiales durante el proceso de fabricación.					
ENS8	Aumento del uso de energías renovables y combustibles sostenibles					
ENS9	Reducción de los percances medioambientales					

APÉNDICE B

Survey to determine the effect of sustainable supply chain management on business performance

Companies are currently immersed in globalized competition, and their supply chains play an important role in the environmental impact because there is much movement of raw materials and finished products. This survey aims to know how companies integrate new material, eco-design and share information with customers and suppliers to gain better environmental performance, social image, and acceptance.

This survey is part of a project sponsored by the Mexican National Council of Science and Technology (CONACyT). Additionally, it is essential to mention that this questionnaire has been approved by the Research Ethics Committee of the Universidad Autónoma de Ciudad Juárez and that, as researchers, we commit ourselves to the following:

- All data provided in this questionnaire will be protected under the Federal Law for the Protection of Personal Data in Possession of Individuals published in the Official Journal of the Federation on July 5, 2010 (DOF 05-07-2010) and will never be transmitted to third parties or institutions grossly.
- If you agree to participate in this study, you are giving your explicit consent for your anonymous answers to this questionnaire to be treated in an aggregate manner for group statistical purposes and never individually.
- In the future, the group analyses performed (not individual or particular), as well as the source code used to analyze them, will be made available in the following Figshare repository <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19999490.v1> to favor scientific transparency and replicability of the study results.

According to the above information, do you agree to participate? ■ YES ■ NO.

Section I: Demographic data

¿Year of experience in your job?
<input type="checkbox"/> 0 to <1 <input type="checkbox"/> 1to <2 <input type="checkbox"/> 2 to <5 <input type="checkbox"/> 5 to <10 <input type="checkbox"/> >= 10
Gender <input type="checkbox"/> Female <input type="checkbox"/> Male
Job position <input type="checkbox"/> Manager <input type="checkbox"/> Engineer <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Technician
Industrial sector
<input type="checkbox"/> Automotive <input type="checkbox"/> Aeronautic <input type="checkbox"/> Electric <input type="checkbox"/> Electronic <input type="checkbox"/> Logistic <input type="checkbox"/> Machining <input type="checkbox"/> Medical <input type="checkbox"/> Rubber and plastics <input type="checkbox"/> Textiles and apparel <input type="checkbox"/> Other
Industrial sector
<input type="checkbox"/> <50 <input type="checkbox"/> 50 and <300 <input type="checkbox"/> 300 and <1000 <input type="checkbox"/> 1,000 and <5,000 <input type="checkbox"/> 5,000 and <10,000 <input type="checkbox"/> >10,000

I	Inbound sustainability (InS)	Assessment				
		1	2	3	4	5
InS1	Suppliers' sustainability performance assessment through formal evaluation, monitoring and auditing using established guidelines and procedures					
InS2	Training/education in sustainability issues for suppliers' personnel					
InS3	Joint efforts with suppliers to improve their sustainability performance					
InS4	Hear customer concern regarding environmental aspects					
In S5	Government regulations for environmental impacts					

II.	Outbound sustainability (OuS)	Assessment				
		1	2	3	4	5
OuS1	Win orders from customers with higher contributions to the development and welfare of society					
OuS2	Win orders from customers with more environmentally sound products and processes					
OuS3	Win social and governmental acceptance with environmentally friendly products					
OuS4	The company send to market more environmentally friendly products					

III.	Internal sustainability (IS)	Assessment				
		1	2	3	4	5
IS1	Environmental certification (e.g., EMAS or ISO 14001)					
IS2	Formal sustainability-oriented communication, training programs, and involvement at all hierarchical level					
IS3	Energy and water consumption reduction programs					
IS4	Pollution emission reduction and waste recycling programs					
IS5	Use of environmentally friendly materials and machinery					
IS6	Reverse logistics programs					

IV.	Supplier integration (SI)	Assessment				
		1	2	3	4	5
SI1	Sharing information with key suppliers (e.g., sales forecasts, production plans, order tracking, and tracing, delivery status, stock level)					
SI2	Developing collaborative approaches with key suppliers (e.g., supplier development, risk/revenue sharing, long-term agreements)					
SI3	Joint decision-making with key suppliers (e.g., product design/modifications, process design/modifications, quality improvement, and cost control)					
SI4	System coupling with key suppliers (e.g., vendor managed inventory, just in time, Kanban, continuous replenishment)					

V.	Customer integration (CI)	Assessment				
		1	2	3	4	5
CI1	Sharing information with key customers (e.g., sales forecasts, production plans, order tracking, and tracing, delivery status, stock level)					
CI2	Developing collaborative approaches with key customers (e.g., risk/revenue sharing, long-term agreements)					
CI3	System coupling with key customers (e.g., vendor managed inventory, just in time, Kanban, continuous replenishment)					
CI4	Joint decision making with key customers (e.g., about product design/modifications, process design/modifications, quality improvement, and cost control)					

V.	Business performance (BP)	Assessment				
		1	2	3	4	5
BP1	Reduction in cost of acquiring materials					
BP2	Reduction in cost of energy utilization					
BP3	Reduction in fee for treatment and discharge of waste					
BP4	Reduction in penalty for environmental mishaps					
BP5	Average return on sales and investment over the past two years					

BP6	Average profit and profit growth over the past two years					
BP7	Average growth in market share over the past two years					

V.	Environmental performance (EP)	Assessment				
		1	2	3	4	5
EP1	Lower discharge of noxious chemicals into the air and water					
EP2	Lesser waste and recycling of materials during the manufacturing process					
EP3	Increase in the usage of renewable energy and sustainable fuels					
EP4	Enhancement in the company's environmental state					
EP5	Reduction in the frequency of environmental mishaps					

V.	Social performance (SP)	Assessment				
		1	2	3	4	5
SP1	Employees' health and safety					
SP2	Improving community health and safety					
SP3	Development of economic activities					
SP4	Providing inducements to engage local employment					
SP5	Lowering the adverse impact of products and processes on the local community					

If you wish to receive a copy of the final report of this research, please provide a contact email:

!We appreciate your participation!

APÉNDICE C

Survey to determine green supply chain management practices and the impact on environmental performance

Companies are currently immersed in globalized competition, and their supply chains play an important role in the environmental impact because there is much movement of raw materials and finished products. This survey aims to know how companies integrate new material and eco-design and share information with customers and suppliers to gain better environmental performance, social image, and acceptance.

This questionnaire aims to determine the level of sustainable supply chain practices in the maquiladora industry in Ciudad Juárez, Mexico. For this reason, we request your cooperation in answering them according to the scale indicated and as truthfully as possible. It is essential to mention that this questionnaire has been approved by the Research Ethics Committee of the Universidad Autónoma de Ciudad Juárez and that, as researchers, we commit ourselves to the following:

- All data provided in this questionnaire will be protected under the Federal Law for the Protection of Personal Data in Possession of Individuals published in the Official Journal of the Federation on July 5, 2010 (DOF 05-07-2010) and will never be transmitted to third parties or institutions grossly.
- If you agree to participate in this study, you are giving your explicit consent for your anonymous answers to this questionnaire to be treated in an aggregate manner for group statistical purposes and never individually.
- In the future, the group analyses performed (not individual or particular), as well as the source code used to analyze them, will be made available in the following Figshare repository <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19999490.v1> in order to favor scientific transparency and replicability of the study results.

According to the above information, do you agree to participate? ■ YES ■ NO.

Note: This survey is part of a project funded by the Mexican National Council of Science and Technology (CONACyT).

Section I: Demographic data

¿Year of experience in your job?
<input type="checkbox"/> 0 to <1 <input type="checkbox"/> 1to <2 <input type="checkbox"/> 2 to <5 <input type="checkbox"/> 5 to <10 <input type="checkbox"/> >= 10
Género <input type="checkbox"/> Female <input type="checkbox"/> Male
Job position <input type="checkbox"/> Manager <input type="checkbox"/> Engineer <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Technician
Industrial sector
<input type="checkbox"/> Automotive <input type="checkbox"/> Aeronautic <input type="checkbox"/> Electric <input type="checkbox"/> Electronic <input type="checkbox"/> Logistic <input type="checkbox"/> Machining <input type="checkbox"/> Medical <input type="checkbox"/> Rubber and plastics <input type="checkbox"/> Textiles and apparel <input type="checkbox"/> Other
Number of workers
<input type="checkbox"/> <50 <input type="checkbox"/> 50 and <300 <input type="checkbox"/> 300 and <1000 <input type="checkbox"/> 1,000 and <5,000 <input type="checkbox"/> 5,000 and <10,000 <input type="checkbox"/> >10,000

Note: Please use the following scale to assess your evaluation

Number	1	2	3	4	5
Meaning	Strongly disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly agree

I	Source-reduction (SR)	Assessment				
		1	2	3	4	5
SR1	Use of recycled materials in production					
SR2	Reducing the variety of materials used in the production process					
SR3	Avoidance of harmful materials or components					
SR4	Use of standardized and certified components					

II.	Eco-design (ED)	Assessment				
		1	2	3	4	5
ED1	Redesigning the product or the production process					
ED2	Using packaging and pallets which can be reused					
ED3	Increase the life cycle of the product					
ED4	Using a few and reusable components					

III.	Environmental Management Systems (EMSs)	Assessment				
		1	2	3	4	5
EMS1	Using advance inventory management techniques					
EMS2	Cross functional cooperation					
EMS3	Providing ongoing support from top management					
EMS4	Regular maintenance of the production equipment					
EMS5	Providing training to employees/managers on various environmental management areas					
EMS6	Using an internal environmental program					
EM7	Using remanufacturing and recovery programs					

IV.	External Environmental Management (EEM)	Assessment				
		1	2	3	4	5
EEM1	Including environmental considerations in selection criteria for suppliers					
EEM2	Achieving environmental goals collectively with our main suppliers					
EEM3	Providing suppliers with written environmental requirements for purchased items					
EEM4	Providing customers with written environmental information related to our products					
EEM5	Working with customers to develop a mutual understanding of responsibilities regarding environmental performance					
EEM6	Conducting joint planning sessions, workshops and knowledge sharing activities with suppliers to anticipate and resolve environmental-related problems					

V.	Environmental Impact (ENI)	Assessment				
		1	2	3	4	5
ENI1	Reducing consumption of harmful materials					
ENI2	Reduction of air emissions					
ENI3	Reduction of water emissions					
ENI4	Reduction of solid waste disposal					
ENI5	Reduction of environmental accidents					

VI.	Environmental Cost Savings (ECS)	Assessment				
		1	2	3	4	5
ECS1	Decrease of fee for waste treatment					
ECS2	Decrease of fee for waste discharge					

ECS3	Decrease of cost for energy consumption					
ECS4	Decrease of material purchasing costs					

