

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS

“FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE *LEAN MANUFACTURING* EN EMPRESAS MANUFACTURERAS DE MÉXICO”

Para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

Presenta:

Marina Dolores De la Vega Rodríguez

Directora de tesis:

Dra. Yolanda Angélica Báez López

Co-director de tesis:

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

“Factores críticos de éxito para la implementación de *Lean Manufacturing* en empresas manufactureras de México”

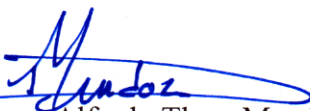
TESIS

Que para obtener el grado de Doctorado en Ciencias presenta:

Marina Dolores De la Vega Rodríguez

Aprobada por:


Dra. Yolanda Angélica Báez López
Directora de tesis


Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Co-director de tesis


Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité


Dr. Armando Pérez Sánchez
Miembro del comité


Dra. Dora Luz Flores Gutiérrez
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Septiembre 2020.

RESUMEN de la tesis de **MARINA DOLORES DE LA VEGA RODRÍGUEZ** presentada como requisito para la obtención del grado de DOCTORA EN CIENCIAS del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería de la UABC, Ensenada, Baja California, México, septiembre de 2020.

“Factores críticos de éxito para la implementación de *Lean Manufacturing* en empresas manufactureras de México”

Resumen aprobado por:



Dra. Yolanda Angélica Báez López
Directora



Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Co-director

Esta investigación se llevó a cabo en la industria manufacturera mexicana, la segunda actividad más importante del sector industrial del país, específicamente en el subsector de fabricación de equipos de transporte, el cual genera el 19% de los empleos en esta industria, por ello, es importante desarrollar estrategias de mejora para fortalecer la competitividad del sector. Actualmente, los proyectos de *Lean Manufacturing* se consideran la estrategia más importante para que las empresas manufactureras logren un desempeño de clase mundial. Sin embargo, dichos proyectos arrojan resultados diferentes, dependiendo del nivel de implementación de los Factores Críticos de Éxito (FCE) durante su desarrollo. Este trabajo propone el diseño y validación de un instrumento para evaluar la implementación de FCE durante la fase de mejora de proyectos en la producción de equipos de transporte en la industria manufacturera mexicana. El instrumento está compuesto por seis FCE seleccionados de la literatura revisada sobre la metodología *Lean Manufacturing* y los proyectos de mejora y medidos a través de 31 ítems. El instrumento fue validado empíricamente mediante análisis factorial exploratorio, análisis factorial confirmatorio, utilizando el software SPSS Amos® y una muestra de 240 encuestas válidas aplicadas a desarrolladores experimentados de proyectos de mejora de *Lean Manufacturing*. Los resultados muestran que el instrumento propuesto tiene suficiente validez estadística para ser utilizado por las empresas del sector para evaluar el impacto de factores críticos de éxito en el desarrollo de proyectos de mejora desarrollados bajo la metodología LM.

El documento de tesis se encuentra organizado de la siguiente manera: en el capítulo uno se hace referencia a los antecedentes y al contexto de la investigación, así como al planteamiento del problema y los objetivos a lograr. En el capítulo dos se describe el marco teórico de la investigación, profundizando en la industria manufacturera mexicana, específicamente en el sector de fabricación y equipo de transporte, se relata la metodología *Lean Manufacturing* y se hace una revisión acerca de los FCEs. La metodología para determinar los FCEs, así como el diseño y validación instrumento de recolección de datos se describe en el capítulo tres. En el capítulo cuatro se muestran los FCEs significativos para el sector de estudio, así como los resultados del desarrollo y validación del modelo de medición. Por último, en el capítulo cinco se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro de la presente investigación.

Palabras claves: Factores críticos de éxito, *Lean Manufacturing*, industria manufacturera mexicana, proyectos de mejora.

DEDICATORIA

Con amor y cariño:

A mi madre

María Dolores Rodríguez Orozco

A mis abuelos

Socorro Niebla De De la Vega

José De la Vega Hernández

A mis hermanas

Karen Leticia Alaniz Rodríguez

Carolina Iveth Alaniz Rodríguez (la mejor hermana)

A quienes amo y me motivan diariamente.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por darme su amor y su apoyo incondicional, por sus sabios consejos y por enseñarme los verdaderos valores de la vida, a mis hermanas Karen y Carolina por todo el apoyo, amor y comprensión que me dieron durante esta etapa.

A mis abuelos, porque a pesar de la distancia siempre me han dado su apoyo y su amor en todo momento.

A todos mis tíos por desearme siempre lo mejor y su gran cariño. En especial a Eduardo, Leticia y Everardo por alentarme a emprender este camino, gracias por todos sus consejos y la ayuda que me dieron durante esta etapa.

A mi directora de tesis Dra. Yolanda Angélica Báez López por brindarme su gran apoyo, conocimiento, orientación, paciencia y motivación para mi formación en el ámbito de la investigación.

A mis sinodales de tesis Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza y Dr. Jorge Limón Romero por sus enseñanzas, consejos y paciencia durante esta etapa.

Al coordinador de posgrado Dr. Priscy Luque por su total disposición y ayuda que me ha brindado en cualquier aclaración y seguimiento, muchas gracias.

A mis compañeros de doctorado, muchas gracias por toda su paciencia, apoyo, amistad y por los lindos recuerdos que tengo de cada uno de ustedes.

A mis amistades por su gran apoyo y cariño, en especial a mi amiga Cecilia por ayudarme y apoyarme durante el proceso y término de esta etapa, gracias por tu paciencia, comprensión y palabras de aliento.

Y por último agradecimiento especial a CONACYT, Universidad Autónoma de Baja California y Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, por haberme permitido continuar mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Tabla de contenido.....	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tablas.....	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Contexto de la investigación.....	4
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Preguntas de investigación.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Objetivos.....	7
1.6.1 Objetivo general.....	7
1.6.2 Objetivos específicos.....	7
1.7 Justificación.....	7
1.8 Delimitación y limitaciones.....	9
1.8.1 Delimitación.....	9
1.8.2 Limitaciones.....	10
2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Industria manufacturera.....	11
2.2 La industria manufacturera en México.....	11
2.3 <i>Lean Manufacturing</i>	15
2.3.1 Antecedentes de <i>Lean Manufacturing</i>	16
2.3.2 Principios de <i>Lean Manufacturing</i>	17
2.4 Factores Críticos de Éxito (FCE).....	19
2.4.1 Factores Críticos de Éxito de la metodología <i>Lean Manufacturing</i>	20
2.5 Instrumento de medición.....	23

2.5.1 Definición de constructo.....	23
2.5.2 Escala de medición.....	24
2.5.3 Validación del cuestionario.....	24
2.5.3.1 Confiabilidad del cuestionario.....	24
2.5.3.2 Validez del cuestionario.....	25
2.6 Análisis factorial (exploratorio y confirmatorio).....	26
2.7 Modelo de medición.....	27
2.7.1 Especificación del modelo.....	28
2.7.1.1 Tipos de parámetros.....	29
2.7.2 Identificación del modelo.....	29
2.7.3 Estimación del modelo.....	30
2.7.3.1 Supuestos del modelo.....	31
2.7.3.1.1 Datos faltantes.....	31
2.7.3.1.2 Datos atípicos.....	31
2.7.3.1.3 Normalidad univariada.....	31
2.7.3.1.4 Normalidad multivariable.....	32
2.7.3.1.5 Multicolinealidad.....	33
2.7.3.2 Estimación de parámetros.....	33
2.7.4 Evaluación del modelo.....	33
2.7.4.1 Criterios de ajuste para parámetros individuales.....	34
2.7.4.2 Índices de bondad de ajuste del modelo.....	34
2.7.4.2.1 Índices de ajuste absoluto.....	35
2.7.4.2.2 Índices de comparación o ajuste incremental.....	37
2.7.4.2.3 Índices de parsimonia.....	38
2.7.5 Modificación del modelo.....	39
3 METODOLOGÍA.....	40
3.1 Determinación de los Factores Críticos de Éxito.....	40
3.1.1 Revisión de literatura.....	40
3.2 Instrumento para la recolección de datos.....	41
3.2.1 Diseño del instrumento.....	41

3.2.2 Población objetivo y aplicación del instrumento.....	42
3.2.3 Validez y confiabilidad del instrumento.....	42
3.2.4 Especificación del modelo.....	43
3.2.5 Identificación del modelo.....	45
3.2.6 Estimación del modelo.....	45
3.2.7 Evaluación del modelo.....	46
3.2.8 Modificación del modelo.....	46
4 RESULTADOS.....	47
4.1 Diseño del instrumento.....	47
4.1.1 Operacionalización de las variables.....	48
4.1.2 Validez de contenido.....	50
4.2 Administración del instrumento.....	50
4.3 Análisis estadístico para la validez del instrumento.....	52
4.3.1 Análisis factorial.....	54
4.3.2 Validez convergente.....	58
4.3.3 Validez discriminante.....	58
4.3.4 Validez nomológica.....	59
4.4 Evaluación del nivel de implementación de los FCE en los proyectos LM...	59
4.4.1 Discusión de la evaluación.....	60
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1 Conclusiones.....	63
5.1.1 Conclusiones de acuerdo a las hipótesis.....	63
5.1.2 Cumplimiento de los objetivos de investigación.....	64
5.2 Recomendaciones y trabajo a futuro.....	65
5.3 Trabajo a futuro.....	66
6 REFERENCIAS.....	67
7 ANEXOS.....	77
7.1 Anexo 1.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Importancia de las industrias manufactureras en la economía (2019) [47].....	12
Figura 2. Participación de las actividades económicas en el valor agregado [47]	12
Figura 3. Porcentaje de personas ocupadas de los establecimiento. Censo 2019 [47].....	13
Figura 4. Generación de ingresos por tamaño de establecimientos. Censo 2019 [47].....	13
Figura 5. Distribución de empresas grandes de manufactura por Entidad Federativa. DENE 2020.....	14
Figura 6. Distribución de empresas grandes de manufactura por subsectores. DENE 2020.....	15
Figura 7. Modelo de medición para las Xs.....	28
Figura 8. Modelo de medición para las Ys.....	28
Figura 9. Modelo de medición teórico propuesto.....	44
Figura 10. Modelo de medición propuesto de los CFE de LM para el subsector de fabricación de equipo de transporte.....	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estructura porcentual del personal ocupado por actividad económica].....	8
Tabla 2. Estructura porcentualde actividades económicas de manufactura con mayor participación en el empleo.....	9
Tabla 3. Definición conceptual de los constructos.....	48
Tabla 4. Operacionalización de las variables latentes.....	49
Tabla 5. Características de la muestra.....	51
Tabla 6 Resultados de las pruebas de validez de constructo.....	53
Tabla 7. Estructura factorial de los 31 ítems.....	55
Tabla 8 Estimación de los índices de ajuste para el modelo de medición	56
Tabla 9. Correlaciones entre los constructos, varianza media extraída y correlaciones al cuadrado.....	58
Tabla 10 Evaluación del nivel de implementación percibida de los FCE en los proyectos LM.....	60

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la gestión de proyectos se ha convertido en una actividad clave en la mayoría de las organizaciones modernas. Generalmente, los proyectos deben cumplir una amplia variedad de objetivos; involucran a numerosos actores internos y externos y se desarrollan en diversas áreas de actividad [1]. Sin embargo, el objetivo más importante para los directores de proyectos es la calidad, que puede garantizarse identificando y eliminando los factores que provocan un rendimiento deficiente del proyecto. Por lo tanto, es fundamental comprender mejor los factores críticos de éxito (FCE) y cómo medirlos [2]. Desde finales de la década de 1960, los investigadores de gestión de proyectos han estado investigando los factores que normalmente conducen al éxito de los proyectos, y sus conclusiones impregnan la literatura publicada para los profesionales de la gestión de proyectos [3]. Debido a que los FCE son las pocas áreas clave en las que "las cosas deben ir bien" para que se logren los objetivos del gerente y para que la empresa prospere [4], es necesario comprender cómo identificarlos y abordarlos de manera efectiva para garantizar que se logren los beneficios prometidos y evitar fallas [5]. Algunos estudios, como el de Achanga [6], han enfatizado la necesidad de examinar y ejecutar factores importantes que se consideran críticos para la implementación exitosa de cualquier nueva iniciativa de productividad en una organización.

Como resultado, hay numerosos estudios que investigan los FCEs como una iniciativa de calidad [7], e identifican y sugieren FCE para *Lean*, *Just In Time*, *Total Quality Management*, *Six Sigma*, etc. Además, la literatura y la práctica de la gestión de operaciones han demostrado y continúa mostrando un gran interés en estos temas, lo que ha dado lugar a las numerosas descripciones disponibles actualmente [8]. Además, se han propuesto numerosas listas y modelos de factores críticos de éxito a lo largo de la literatura [2]. Entre los proyectos de mejora continua que describen los factores críticos de éxito se encuentran los de *Six Sigma* [9], [10], [11]. Además, FCE para *Lean Six Sigma* han sido discutido por [7], [12], [13], [14]; para *Kaizen*, por [15], [16]; para Gestión de la Calidad Total (TQM) por [17], [18], [19], [20]; para Mantenimiento Productivo Total (TPM) por [21]; para la planificación de recursos empresariales (PRE) por [4]; y para *Lean*, por [22], [23], [24], [25]. La identificación de los factores críticos de éxito para cualquier iniciativa de mejora continua es importante, ya que permite a las organizaciones centrarse en dichos factores para garantizar el éxito [26].

Actualmente, las empresas de manufactura enfrentan una presión constante por los requisitos de sus clientes para entregas rápidas, desarrollo e innovación de nuevos

productos, entregas más frecuentes de lotes más pequeños, mayor variedad de productos, precios más bajos, cero defectos de calidad, mayor confiabilidad y, a veces, fabricación personalizada. En algunos casos, estos requisitos se establecen en un contrato que incluye cláusulas de penalización con cargos monetarios por incumplimiento en el tiempo de entrega, cantidades, variedad de productos, calidad o confiabilidad [27]. Por tanto, las empresas necesitan adoptar metodologías como *Lean Manufacturing* (LM), considerada como la estrategia más importante para las empresas manufactureras que buscan un desempeño de clase mundial, que les permita ser más ágiles en sus respuestas y poder adaptarse rápidamente a cambios inesperados.

En este sentido, los beneficios reportados por las empresas que aplican LM son tales, especialmente dentro de la industria japonesa, que muchas empresas occidentales decidieron implementarlo en sus propias plantas. Sin embargo, como lo menciona Chen y Cheng [28], comenzaron a notar diferencias en sus resultados, que podrían deberse a factores externos o específicos de cada región. Considerando tales diferencias en el proceso de implementación de LM, se puede asumir que hay una serie de elementos que deben estar presentes al momento de desarrollar proyectos de mejora utilizando herramientas LM.

Por otro lado, en México, el sector manufacturero es el más importante en términos de producción bruta total, ya que genera el 43% del total nacional, ocupando el 12.2% de las unidades económicas y el 24.7% de todo el personal ocupado [29]. A su vez, el subsector más importante dentro de la manufactura es la fabricación de equipo de transporte, que comprende la fabricación de automóviles y camiones, carrocerías y remolques, partes de vehículos de motor tales como sistemas de dirección, sistemas de frenos y sistemas de transmisión, equipo aeroespacial, equipo ferroviario, botes y otros equipos de transporte, entre otros [30]. Debido a la importancia del sector y los beneficios reportados de implementar la metodología de mejora, es común que las grandes empresas manufactureras mexicanas busquen implementar *Lean Manufacturing* como una estrategia para reducir costos de producción y eliminar desperdicios innecesarios del proceso productivo.

Lo anterior revela la necesidad de identificar los FCEs que inciden en el éxito de los proyectos LM en el sector de fabricación de equipos de transporte en México, así como para diseñar y validar un instrumento de medición que pueda ser útil a las empresas en la recolección de los datos necesarios para evaluar la implementación de LM en sus proyectos de mejora.

1.1 Antecedentes

Los Factores Críticos de Éxito (FCE) son características, condiciones o variables que, si se mantienen o gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto significativo en el éxito de una empresa competidora en un tipo de industria [31]. Según Näslund [32], aparte de algunas ligeras variaciones, los factores críticos de éxito son similares en todas las iniciativas de mejora de la calidad y parecen relativamente constantes en el tiempo. Otro hallazgo importante es que los FCE tienden a estar más relacionados con la forma en que una organización aborda los factores específicos del esfuerzo de cambio que con los métodos de cambio en sí. Las cuestiones de apoyo a la gestión y cultura organizacional a menudo se enfatizan como especialmente críticas.

Factores como la participación y el compromiso de la alta dirección, la educación y el entrenamiento, el liderazgo de proyectos, el enfoque en el cliente y la vinculación de *Lean* con los proveedores se conocen como ingredientes clave, es decir, factores que son esenciales para la implementación exitosa de cualquier iniciativa de mejora de la calidad [10]. Por tanto, se encuentran habitualmente o se trasladan a las diferentes estrategias de mejora. De hecho, la principal razón para transferir conceptos de *Six Sigma*, *Lean Manufacturing* u otras estrategias de mejora a otras organizaciones, es el éxito que han tenido en empresas como Motorola y Toyota [33].

Para lograr el éxito o beneficio esperado en la implementación de proyectos de mejora de LM, se deben proporcionar los recursos necesarios e involucrar a los empleados para que comprendan los proyectos asociados con LM [34], lo cual se logra contando con la participación y el compromiso de la alta dirección, por lo cual éste se considera uno de los principales FCE [32], [34]. Asimismo, se debe tener en cuenta que el éxito de *Lean Manufacturing* depende en gran medida del liderazgo del proyecto [35], ya que son los líderes quienes deben tomar las medidas necesarias para asegurar que el programa Lean se incorpore dentro de una organización para lograr un avance e implementación eficiente del proyecto de mejora [36].

Asimismo, es importante considerar la educación y el entrenamiento como FCE [37], [32], [11]. Se requiere capacitar a los trabajadores en los principios de LM, ya que al recibir una capacitación de calidad y poseer las calificaciones educativas esenciales, los empleados pueden llevar a cabo una implementación exitosa, aumentar su experiencia y aprender a tomar decisiones utilizando su propio entendimiento.

Por otro lado, son los clientes quienes determinan el flujo de valor en el proceso de *Lean Manufacturing*, por lo tanto, la empresa debe ser capaz de reconocer los

requerimientos de los clientes y debe organizar las actividades que pondrían los productos a su disposición [38], en este sentido estudios como los de Flynn et al. [39], dejan claro que el enfoque al cliente es un FCE que permite una comunicación abierta con los clientes y les ayuda a monitorear sus requerimientos, además de ayudar a identificar las mejoras necesarias si no se cumplen.

De la misma forma, la vinculación de *Lean* con los proveedores se considera un factor crítico de éxito para el desarrollo de proyectos LM [40], por su propósito de reducir costos y desperdicios en toda la red de la cadena de suministro de la empresa para asegurar el éxito de la fabricación *Lean* [34], la cual puede lograrse creando una relación entre proveedores y fabricantes.

Por lo anterior, es importante el desarrollo y validación de un instrumento confiable que permita la recolección de datos sobre FCE que afecten el desarrollo de proyectos LM en el sector de estudio especificado. Esto concuerda con lo mencionado por Glover et al. [15], quien afirma que al comprender los FCE para la implementación de un sistema, una organización puede determinar con éxito las dificultades que afectan críticamente el proceso, eliminando o evitando cualquier problema que pueda contribuir a su fracaso.

1.2 Contexto de la investigación

Esta investigación analiza la situación actual a nivel mundial sobre los estudios, proyectos e investigaciones que se han realizado en los últimos años acerca la implementación de *Lean Manufacturing*, para conocer los FCEs que afectan su implementación, buscando con esto apoyar a las empresas que realizan proyectos de mejora bajo esta metodología, al darles a conocer en cuáles FCEs deben enfocarse para incrementar la posibilidad de tener mayores beneficios. También se analizan las características de la industria manufacturera mexicana, como cantidad y tamaño de establecimientos por entidad federativa y subsectores de fabricación, se enfatiza en el subsector de fabricación de equipo de transporte, como manera conocer la población a la cual está encaminada esta investigación.

1.3 Planteamiento del problema

Actualmente, en los más de dos mil kilómetros de frontera que tiene México con Estados Unidos de América, existen más de 3000 empresas maquiladoras; es decir, empresas que importan sus materias primas y que después exportan sus productos terminados. La mayoría de estas empresas emplean un conjunto de técnicas de *Lean Manufacturing* (LM, Manufactura Esbelta), tanto para eliminar desperdicios en sus

procesos productivos, como para mover esa cantidad de productos en el proceso de importación y exportación. Como se mencionó anteriormente muchas empresas occidentales decidieron implementar en sus plantas LM, sin embargo empezaron a observar diferencias en los resultados, tal como lo menciona Cheng [41], estas diferencias pueden ser debidas a factores externos y específicos de cada región, tales como aspectos culturales, ética en el trabajo, empleos vitalicios entre otros. Este tipo de diferencias en la implementación hizo que muchas empresas que inicialmente habían implementado alguna de las técnicas de LM, la abandonaran, tal como lo menciona Inman et al. [42], [43] en la adopción de *Just In Time* (JIT) para el caso específico de México y España.

Ante estas diferencias en el proceso de implementación de LM, se hace suponer que existe una serie de elementos que deben estar presentes al desarrollar proyectos de mejora. Estas mismas preguntas se han realizado otros investigadores en países como India y Reino Unido y, en la actualidad es posible encontrar trabajos como los de Sing y Garg [43] y, Antony [9] donde se enfocan en encontrar esos elementos, también llamados Factores Críticos de Éxito (FCE), que las empresas requieren para incrementar la probabilidad de éxito en los proyectos LM.

En relación con los FCEs que influyen para una implementación exitosa de LM, según Zhang [12] y Vinodh [22], Achanga [6] en países como Pakistán, India y Reino Unido, se encuentran los siguientes: educación y entrenamiento, compromiso de la gestión, comunicación, mejora continua, entre otros. Asimismo, mencionan que el atender esos FCEs se pueden obtener los siguientes beneficios: reducción del producto en proceso y el tiempo de espera, mejorar la productividad, etc. Para el caso específico del subsector de fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera mexicana se desconocen los FCEs que afectan el éxito al momento de implementar proyectos de mejora.

Hasta este momento se han hecho pocos estudios serios sobre la implementación de LM en las empresas de manufactura en México, aun cuando existe mucha información sobre los mismos, la gran mayoría está desarrollada en otros países donde las costumbre, las necesidades y los estímulos del personal, estilos de gestión, situación general de mercado y posición competitiva en las empresas son diferentes a las nuestras, lo que sugiere que los modelos de implementación de LM que se explican, no necesariamente se pueden adoptar sin cambios en las empresas de manufactura establecidas en México y más específicamente en el subsector de fabricación de equipo de transporte.

México con la apertura comercial que ha tenido recientemente, enfrenta también problemas como los que enfrentaron India y Reino Unido en su momento y, se piensa que la industria manufacturera mexicana, especialmente del sector fabricación de equipo de transporte, por la importancia que tiene para la economía del país, merece ser estudiados para desarrollar y validar un instrumento que pueda ser utilizado por las empresas del subsector a fin de evaluar el impacto y la interacción de los factores críticos de éxito en sus proyectos de mejora.

Asimismo, el estudio permitirá examinar el grado de implementación percibido por los encuestados al desarrollar proyectos de mejora bajo la metodología LM, lo que permitirá conocer el nivel de adopción de la metodología en el subsector de estudio, además contribuir a incrementar la escasa literatura sobre la implementación de la metodología en los proyectos de mejora realizados en la industria manufacturera de México.

1.4 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los FCE que afectan la implementación de LM en el subsector de fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera mexicana?
2. ¿Es posible desarrollar y validar un instrumento de recolección de datos que permita medir el nivel de implementación de los FCE en el subsector de estudio?
3. ¿Cuál es la validez con que cuentan cada uno de los constructos del instrumento?
4. ¿Cuál es el nivel de implementación percibido por los encuestados al desarrollar proyectos de mejora LM en el subsector de estudio?

1.5 Hipótesis

Las hipótesis que se plantean en esta investigación y que surgen del análisis de la información obtenida son las siguiente:

1. El involucramiento y compromiso de la alta dirección, el liderazgo de proyectos, la educación y el entrenamiento, el enfoque al cliente, la vinculación *Lean* con proveedores y los beneficios son los FCEs a considerar para el desarrollo de un instrumento de recolección de datos, que permita obtener información confiable para incrementar la posibilidad de éxito en los proyectos de mejora LM, en el subsector fabricación de equipo de transporte.

2. La percepción de los encuestados sobre los FCEs es que casi siempre están presentes al desarrollar proyectos bajo la metodología *Lean Manufacturing*, en el subsector fabricación de equipo de transporte.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar y validar un instrumento de recolección de datos que relacione los factores críticos de éxito al implementar proyectos de mejora (LM) en el subsector fabricación de equipo de transporte de las industrias manufactureras mexicanas.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Determinar los principales factores críticos de éxito en el desarrollo de proyectos de mejora LM, mediante una revisión de literatura a nivel mundial.
2. Determinar la validez de los constructos en el estudio mediante cargas factoriales, la varianza extraída y los análisis de confiabilidad.
3. Evaluar el ajuste global del modelo de medición mediante índices de bondad del ajuste del modelo.
4. Determinar las variables latentes que afectan la implementación de proyectos de mejora LM en las industrias de manufactura del subsector fabricación de equipo de transporte.
5. Medir el nivel de implementación de los FCE, percibido por los encuestados al desarrollar proyectos de mejora LM en el subsector de estudio.

1.7 Justificación

Históricamente, tanto la calidad como la productividad eran consideradas asuntos exclusivamente de los directivos de operaciones. Cuando las mejoras en estas áreas requerían mejor selección de personal, formación y supervisión, o un repaso a la negociación de los acuerdos laborales relacionados con la asignación de puestos de trabajo, se involucraba al departamento de recursos humanos. En términos generales, para aumentar el valor agregado de procesos o productos, son necesarios programas de mejora de la calidad que incrementen los beneficios deseados por los clientes; al mismo tiempo, la mejora de la productividad tiene que llevar asociada una reducción de costos. Considerando todo conjuntamente, la productividad y la calidad

forman un elemento importante del enfoque integral de administración de operación y servicios. El reto es que los programas de mejora de cada ámbito refuercen el logro de los objetivos comunes, en vez de actuar de forma independiente en los puntos aparentemente contrarios [44].

La medición de la calidad y la productividad ha sido objeto de innumerables ponencias, documentos, investigaciones, libros, etc., y ha cobrado relevancia en la medida que tales conceptos se develan como factores claves de la competitividad de las empresas [45]. En los últimos años, la metodología *Lean Manufacturing* ha cobrado gran importancia en la gestión operacional y estratégica de las organizaciones de este nuevo siglo. Dicha relevancia se ha centrado en la búsqueda constante por reducir los costos operativos mediante la eliminación de desperdicios, mejorando con ello la productividad y la competitividad de las organizaciones multinacionales [46]. El éxito de los proyectos de mejora *Lean Manufacturing*, se debe en gran medida a la identificación y eliminación de los factores que causan un mal desempeño. Por lo tanto, los gerentes de proyectos necesitan una mejor comprensión de los FCEs y de cómo medirlos [2]. La literatura disponible que sustenta el conocimiento sobre el grado de implementación de los FCEs de LM en el sector manufacturero mexicano es escasa, por lo tanto, con el desarrollo de esta investigación se busca contribuir a la literatura disponible en el tema.

Por otro lado, es importante conocer la situación del sector manufacturero mexicano y enfatizar en la importancia de proyectos que apoyen su desarrollo, en este sentido, es importante mencionar que en México las actividades secundarias, de acuerdo con la clasificación del INEGI [47], aportan el 34.6% del Producto Interno Bruto (PIB), de ese total el 18.8% lo genera la industria manufacturera, sobresaliendo los subsectores industria alimentaria y fabricación de equipo de transporte, quienes en conjunto generan el 40.7% de la aportación de la industria manufacturera al PIB. Asimismo, en el censo económico del 2019, las empresas manufactureras obtienen la tercera posición como generadoras del empleo en el país (Tabla 1).

Tabla 1. Estructura porcentual del personal ocupado por actividad económica.

Actividad económica	Estructura porcentual Personal ocupado		
	2009	2014	2019
Servicios	47.1	49.5	48.7
Comercio	26.0	24.3	23.1
Manufacturas	18.0	18.1	18.8
Resto de las actividades económicas	8.9	8.1	9.4

Fuente: Censo Económico 2019 [47]

Dentro del sector manufacturero la actividad económica que tiene mayor participación en el empleo la fabricación de partes para vehículos automotores con el 15.7 % representando el primer lugar entre las demás actividades económicas (Tabla 2).

Tabla 2. Estructura porcentual de actividades económicas de Manufactura con mayor participación en el empleo.

Actividad económica	Personal ocupado total	Participación porcentual		Lugar en importancia	
	2019	2014	2019	2014	2019
Fabricación de partes para vehículos automotores	1,027,341	12.3	15.7	1	1
Elaboración de productos de panadería y tortillas	514,654	8.4	7.9	2	2
Fabricación de productos de plástico	323,776	4.9	4.9	4	3
Confección de prendas de vestir	293,187	5.2	4.5	3	4
Fabricación de componentes electrónicos	191,150	2.9	2.9	7	5
Industria de las bebidas	189,818	3.3	2.9	5	6
Fabricación de estructuras metálicas y productos de herrería	178,090	3.1	2.7	6	7
Fabricación de equipo no electrónico y material desechable de uso médico, dental y para laboratorio, y artículos oftálmicos	164,271	2.4	2.5	10	8
Fabricación de calzado	135,567	2.4	2.1	8	9
Fabricación de muebles, excepto de oficina y estantería	133,634	2.4	2	9	10

Fuente: Censo Económico 2019

Por la importancia de la industria manufacturera en la generación de riqueza y empleos en el país, así como los beneficios reportados a nivel mundial en la literatura al realizar proyectos LM, y la importancia de conocer los FCEs que pueden incrementar su probabilidad de éxito, se hace evidente la necesidad de contar con un instrumento diseñado y validado que permita conocer el nivel de implementación de los FCEs en los proyecto LM en el subsector fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera mexicana.

1.8 Delimitación y limitaciones

1.8.1 Delimitación

La presente investigación tiene el objetivo de diseñar y validar un instrumento para evaluar la implementación de los FCEs en proyectos de mejora de LM en empresas grandes de fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera

mexicana, se delimita a la información disponible en artículos de revistas, tesis en español e inglés, así como a la información obtenida de la aplicación del instrumento a usuarios de la metodología LM en la industria manufacturera del sector anteriormente mencionado.

1.8.2 Limitaciones

Existen dos limitaciones principales para este trabajo. Primero, esta encuesta abarcó solo el sector de fabricación de equipos de transporte de la industria manufacturera mexicana; por lo tanto, en su versión original no es generalizable a otras industrias. Sin embargo, el instrumento podría ser utilizado en otros sectores industriales del país o de países con condiciones similares a las de México. No obstante, se recomienda comprobar primero la validez del instrumento, y ajustarlo si es necesario, antes de utilizarlo en sectores distintos para el que diseñado y validado.

En segundo lugar, los FCEs considerados para el desarrollo del instrumento fueron el producto de una extensa revisión de la literatura, eligiendo los que contaban con el mayor número de menciones, por tanto, es probable que existan FCE que influyan, en menor medida, en proyectos de mejora de la LM, que no se incluyeron en el instrumento.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Industria Manufacturera

El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), México [48] define al sector manufacturero a aquellas unidades económicas dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias con el fin de obtener productos nuevos; al ensamble en serie de partes y componentes fabricados; a la reconstrucción en serie de maquinaria y equipo industrial, comercial, de oficina y otros, y al acabado de productos manufacturados mediante el teñido, tratamiento calorífico, enchapado y procesos similares. Asimismo, se incluye aquí la mezcla de productos para obtener otros diferentes, como aceites, lubricantes, resinas plásticas y fertilizantes. Incluye también: unidades económicas contratadas para realizar las actividades manufactureras de productos que no son propios (actividades de maquila), y unidades económicas que no tienen factores productivos, es decir, aquellas que no tienen personal ocupado ni maquinaria y equipo para la transformación de bienes, pero que los producen a través de la subcontratación de otras unidades económicas.

Este sector se caracteriza por ser diversificado; en éste coexisten actividades altamente concentradas, como la industria siderúrgica, la automotriz, la de cemento, la elaboración de cerveza, la refinación de petróleo, por citar algunas; junto con industrias atomizadas, como son la fabricación de productos de herrería, elaboración de pan, de tortillas de maíz, purificación de agua, entre otras [49].

2.2 La Industria Manufacturera en México

El sector de la industria manufacturera en nuestro país es de gran importancia ya que contribuye al desarrollo de la economía nacional, mayor contribución al PIB, además de emplear a un número mayor de personas en comparación de otros sectores y también en generación de nuevas tecnologías e innovación en procesos y productos.

En el censo económico del 2019 [47] muestra que el sector Manufacturero en México es el más importante en la generación de producción bruta total, al registrar 43.0 % del total nacional, concentrando 12.2 % de las unidades económicas y 24.7 % del personal ocupado (Figura 1).

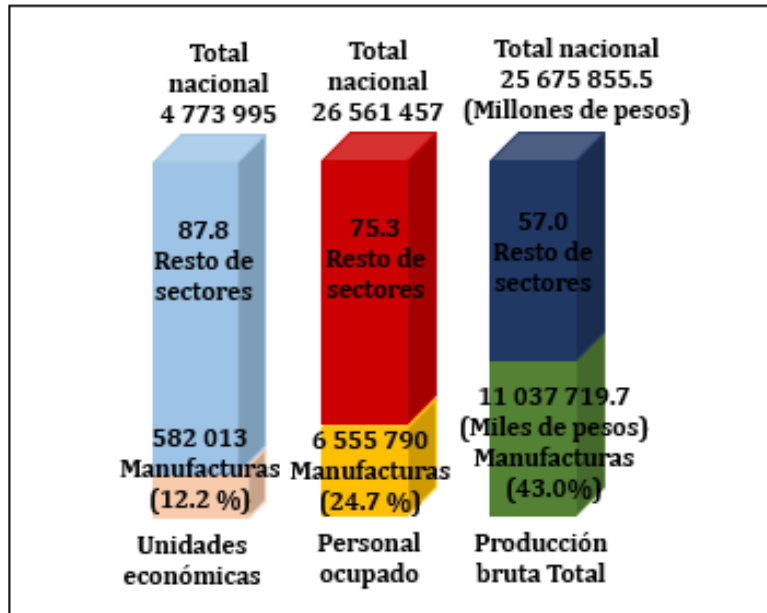


Figura 1. Importancia de las industrias manufactureras en la economía 2019 [47].

De acuerdo con el valor agregado censal bruto generado por sectores, en los últimos años se observa un incremento en la aportación del sector manufacturero. El mayor porcentaje de valor agregado lo aportan las manufacturas con 32.0%, seguido del comercio con 21.4%, servicios privados no financieros con 20.8%, minería 9.5%, electricidad 2.2% y finalmente el resto de actividades con 14.3 por ciento (Figura 2) [47].

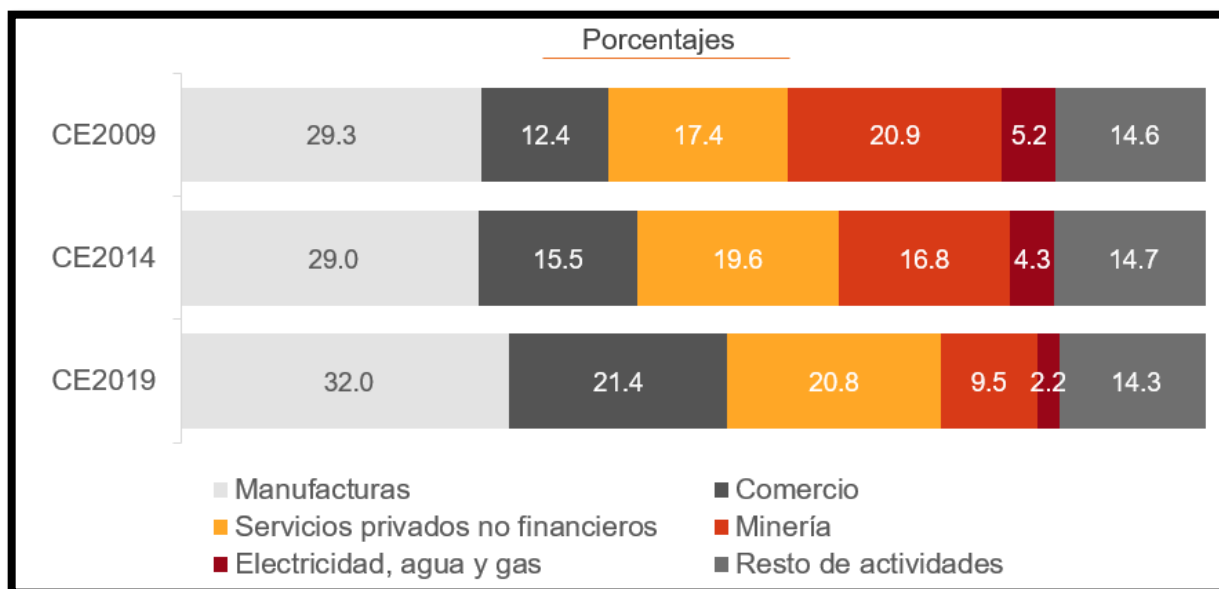


Figura 2. Participación de las actividades económicas en el valor agregado [47].

Las empresas micro (de hasta 10 personas) representaron 95% de las unidades económicas del total del sector, 37.8 % del personal ocupado total y generaron 14.2% de la producción bruta total; es decir, muchos establecimientos generan poca producción. Por su parte, las empresas grandes representaron sólo 0.2 % del total de unidades económicas, en personal ocupado 31.6 % (Figura 3) y concentrando la mayor parte de los ingresos con un 47.8 % (Figura 4) del resto de las PyMEs [47].

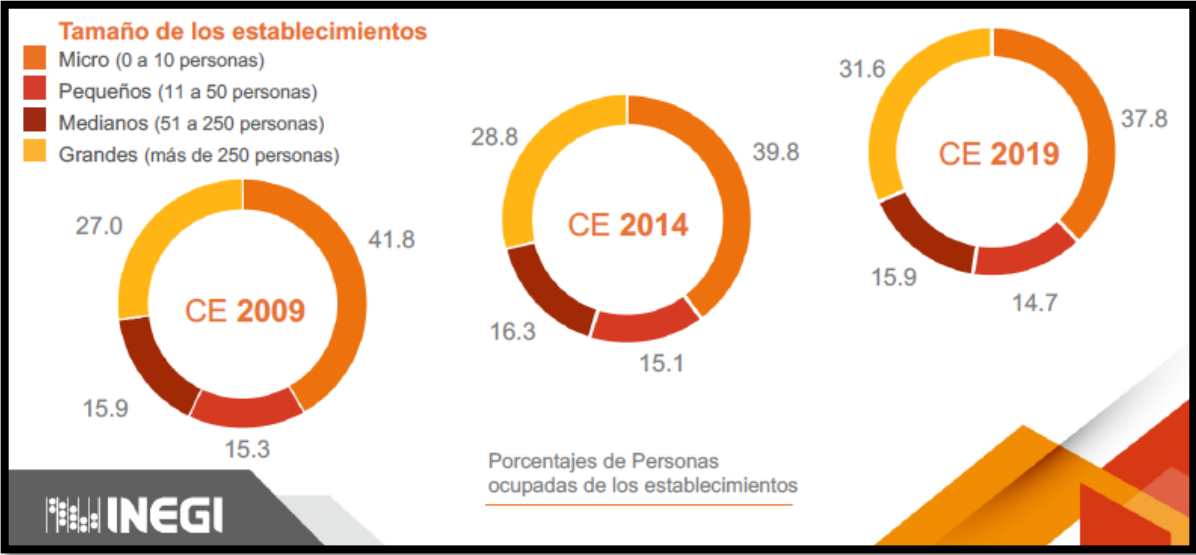


Figura 3. Porcentaje de personas ocupadas de los establecimientos Censo 2019 [47].

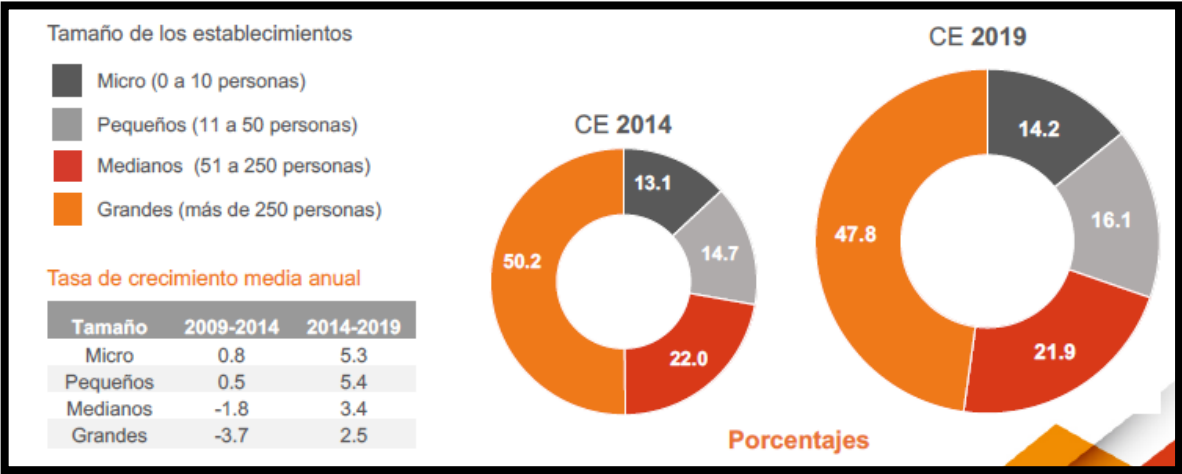


Figura 4. Generación de ingresos por tamaño de establecimientos (porcentajes) Censo 2019 [47].

En la figura 5 se muestra gráficamente la distribución de las empresas grandes por Entidad Federativa tomando en cuenta el porcentaje acumulado del 80% (80/20 principio de Pareto), que abarca desde el estado de México hasta Puebla.

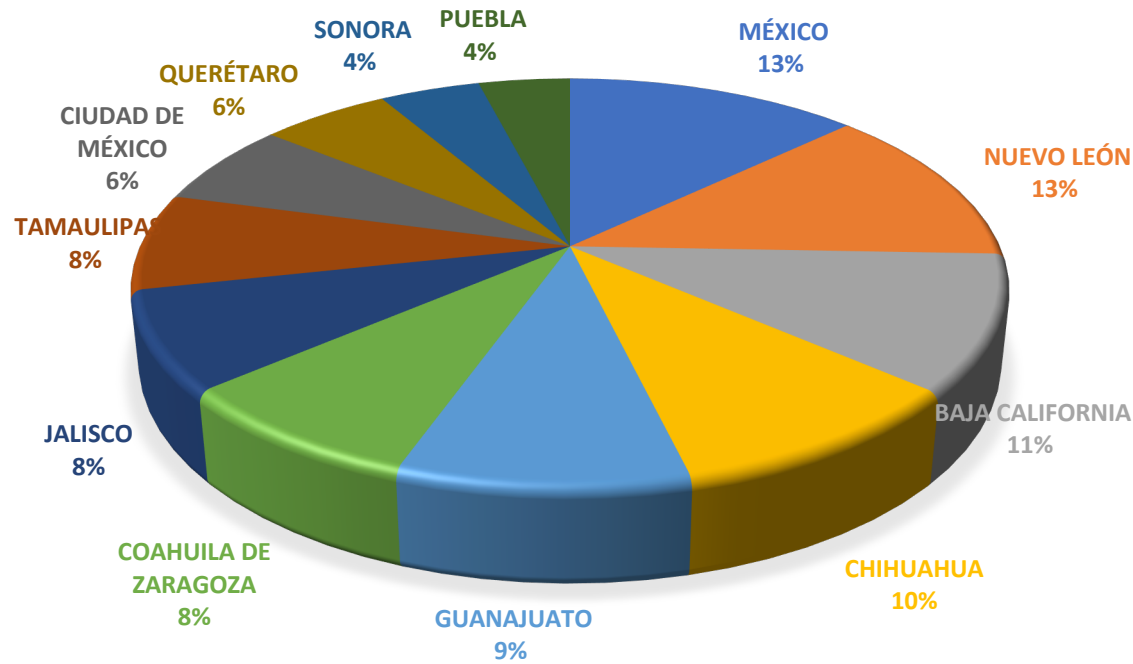


Figura 5. Distribución de Empresas Grandes de Manufactura por Entidad Federativa (Elaboración propia) DENUE 2020 [50].

En la figura 6 se muestra gráficamente la distribución de las empresas grandes por Subsectores tomando en cuenta el porcentaje acumulado del 80% (80/20 principio de Pareto), que abarca desde la industria Fabricación de equipo de transporte hasta fabricación de maquinaria y equipo.

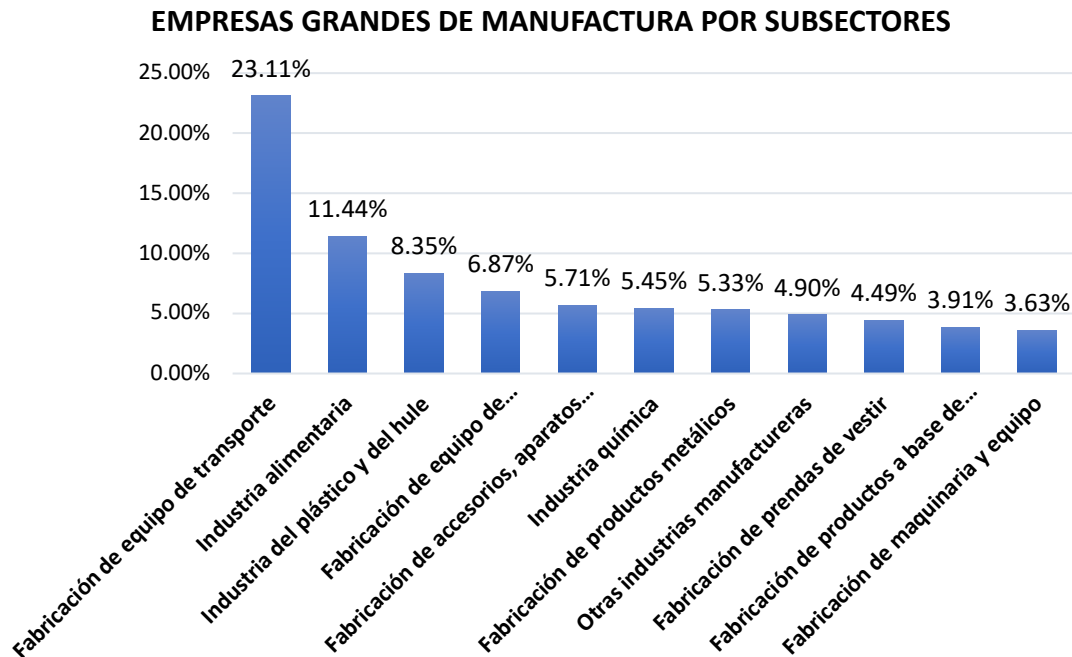


Figura 6. Distribución de Empresas Grandes de Manufactura por Subsectores
(Elaboración propia) DENUE 2020 [50].

2.3 *Lean Manufacturing*

Lean es el término utilizado para describir un sistema de gestión de mejora continua de la calidad (CQI por sus siglas en inglés) basado en principios basados en el Sistema de Producción Toyota (TPS por sus siglas en inglés) que ha evolucionado durante más de 70 años. Sus orígenes se remontan mucho más atrás y están fuertemente influenciados por el trabajo de W. Edwards Deming y el método científico que forma la base de la mayoría de los sistemas de gestión de calidad. *Lean* tiene dos elementos fundamentales: un enfoque sistemático para la mejora de procesos al eliminar el desperdicio para maximizar el valor para el usuario final del servicio y un compromiso de respetar, desafiar y desarrollar a las personas que trabajan dentro del servicio para crear una cultura de mejora continua [51].

Lean Manufacturing es un enfoque multidimensional que abarca una amplia variedad de prácticas de gestión, incluidos los sistemas de calidad justo a tiempo, equipos de trabajo, fabricación celular, gestión de proveedores, etc. en un sistema integrado. El objetivo central de la manufactura esbelta es que estas prácticas puedan funcionar sinérgicamente para crear un sistema racionalizado y de alta calidad que produzca productos terminados al ritmo de la demanda del cliente con poco o ningún desperdicio [52].

La palabra "*lean*" se refiere a la manufactura esbelta o la producción esbelta, ya que utiliza menos de todo, en comparación con la producción en masa. Solo utiliza menor cantidad del esfuerzo humano en la fábrica, del espacio de fabricación, de la inversión en herramientas y de las horas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto en la mitad del tiempo [53].

2.3.1 Antecedentes *Lean Manufacturing*

Las técnicas de organización de la producción surgen a principios del siglo XX con los trabajos realizados por F.W. Taylor y Henry Ford, que formalizan y metodifican los conceptos de fabricación en serie que habían empezado a ser aplicados a finales del siglo XIX y que encuentran sus ejemplos más relevantes en la fabricación de fusiles (EEUU) o turbinas de barco (Europa). Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación de método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos. Posteriormente Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación de automóviles en donde hizo un uso intensivo de la normalización de los productos, la utilización de máquinas para tareas elementales, la simplificación-secuenciación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada. En ambos casos se trata de conjuntos de acciones y técnicas que buscan una nueva forma de organización y que surgen y evolucionan en una época en donde era posible la producción rígida en masa de grandes cantidades de producto [54].

El problema con el sistema de Henry Ford no fue el flujo: Él fue capaz de reducir los inventarios de toda la empresa día con día. Al contrario, fue su incapacidad para proporcionar variedad. El Modelo T no se limita sólo a un color. También se limitó a una especificación para que todos los chasis modelo T eran esencialmente idénticos a través de la final de la producción en 1926 [55].

El punto de partida de la producción ajustada es la producción en masa. Durante la primera mitad del siglo XX se contagió a todos los sectores la producción en masa, inventada y desarrollada en el sector automovilístico. Es conocida la crisis del modelo de producción en masa, que encontró en el fordismo y el taylorismo su máxima expresión, pero dejó de ser viable, porque no solo significa la producción de objetos en grandes cantidades, sino todo un sistema de tecnologías, de mercados, economías de escala y reglas rígidas que colisionan con la idea de flexibilidad que se impone en la actualidad [56].

Luego de la Segunda Guerra Mundial, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, de la fábrica de automóviles Toyota, empezaron a utilizar conceptos para hacer más eficientes los procesos. En 1950 Eiji Toyoda visitó por tres meses la planta de Rouge de Ford en Detroit, la había visitado en 1929. La empresa Toyota Motor Company fue fundada en 1937. En 1950, después de 13 años de trabajo y esfuerzo producían 2,685 automóviles, comparados con los 7,000 que producían diariamente en Rouge. Después de estudiar cuidadosamente cada centímetro de la planta Rouge, que era la más grande y eficiente del mundo, Eiji indicó a la sede que había encontrado algunas posibilidades para mejorar el sistema de producción. Se encontró que copiar y mejorar lo que había visto en Rouge sería muy difícil, por lo que Eiji Toyoda y Taiichi Ohno concluyeron que la producción en masa no iba a funcionar en Japón. De esta conclusión, nació lo que llamaron “Sistema de Producción Toyota”, a lo que actualmente se le conoce como Manufactura Esbelta (*Lean Manufacturing*) [57].

2.3.2 Principios de *Lean Manufacturing*

En 1996, el concepto inicial de Lean fue más ampliamente definido y descrito por cinco principios fundamentales [58]:

- Identificar valor. El punto de partida fundamental para el pensamiento *lean* es el valor. Valor sólo puede ser definido por el cliente final. Está y sólo tiene sentido cuando se expresa en términos de un producto específico (un bien o un servicio, o bien una combinación de los dos), que reúnen las necesidades del cliente, con precio específico en el momento específico. El valor es creado por el productor, desde el punto de vista del cliente.
- Identificar la cadena de valor. La cadena de valor es el conjunto de todas las acciones específicas que se requieren para llevar un producto específico (si un bien , un servicio, o cada vez más, una combinación de los dos) a través de las tres tareas críticas de gestión de cualquier negocio: la tarea solución de problemas que va desde el concepto hasta el diseño detallado y la ingeniería de lanzamiento de la producción, la tarea de gestión de información que va desde la toma de pedidos a través de programación detallada de la entrega, y el procedimiento de tarea de la transformación física de materias primas a un producto acabado en las manos del cliente . La identificación de toda la cadena de valor para cada producto (o en algunos casos para cada familia de productos) es el siguiente paso en el pensamiento *Lean*.

- Crear Flujo. Una vez que el valor ha sido determinado con precisión, la cadena de valor de un producto específico asignado totalmente por la empresa Lean, y los pasos, obviamente eliminando todo desperdicio. Es hora del siguiente paso del pensamiento lean, el más importante: Hacer que fluya la creación de valor restante. Este paso requiere una reorganización completa de todo el proceso.
- Jalar. El primer efecto visible de la conversión de los departamentos y lotes de equipos de producto y el flujo es que el tiempo requerido para pasar del concepto al lanzamiento, la venta de la entrega, y la materia prima hasta el cliente cae dramáticamente. Cuando se introduce el flujo, productos que requieren años para diseñar, se realizan en meses, los pedidos que toman días a proceso se completan en horas y las semanas o meses de tiempo de procesamiento para la producción física convencional se reducen a minutos o días. Además, lean puede hacer que cualquier producto actualmente en producción en cualquier combinación, el cambio de demanda se puede acomodar inmediatamente. En otras palabras, diseña y proporciona sólo lo que el cliente quiere y en el tiempo que lo requiere.
- Perfección mejora continua. A medida que las organizaciones comienzan a especificar con precisión el valor, identificar toda la cadena de valor, hacer los pasos de creación de valor para productos específicos fluyen de forma continua, y dejar que los clientes jalen el flujo de valor de la empresa, algo muy extraño comienza a suceder. Se cae en la cuenta de que las personas implicadas no hay fin al proceso de reducción de esfuerzo, tiempo, espacio, costo, y los errores al tiempo que ofrece un producto que es cada vez más cerca de lo que el cliente realmente quiere. De repente, la perfección, el quinto y último principio de pensamiento lean, no parece una loca idea. ¿Por qué debe ser esto? Debido a que los cuatro principios iniciales interactúan entre sí en un círculo virtuoso.

El valor se añade cuando todas las actividades tienen el único objetivo de transformar las materias primas del estado en que se han recibido a otro de superior acabado que algún cliente esté dispuesto a comprar. Entender esta definición es muy importante a la hora de juzgar y catalogar nuestros procesos. El valor añadido es lo que realmente mantiene vivo el negocio y su cuidado y mejora debe ser la principal ocupación de todo el personal de la cadena productiva [54].

Manufactura esbelta o *Lean Manufacturing* es un término genérico que se da a las aplicaciones del sistema de producción Toyota. Este sistema se refiere tanto a fabricación flexible, manejable, sincrónica, como a la fabricación según el flujo de

demanda. El objetivo último de un sistema de este tipo consiste en reducir los siete desperdicios principales tal y como los presenta Taiichi Ohno. Sobreproducción, demoras o tiempo de espera, inventario, transporte, defectos, sobreprocesamiento y movimiento. Un octavo desperdicio fue añadido por Womack y Jones [58] subutilización del personal.

- Sobreproducción. Hacer el producto antes, más rápido o en cantidades mayores a las requeridas por el cliente, ya sea interno o externo.
- Demoras o tiempo de espera. Operarios o clientes esperando por material o información.
- Inventario. Almacenamiento excesivo de materia prima, en proceso o terminado. Ocupan espacio y requieren de instalaciones adicionales de administración.
- Transporte. Mover material en proceso o producto terminado de un lado a otro.
- Defectos. Reparación de un material en proceso o repetición de un proceso.
- Sobreprocesamiento. Esfuerzo que no agrega valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente.
- Movimiento. Cualquier movimiento de personas o máquinas que no agreguen valor al producto o servicio.
- Subutilización del personal. Cuando no se utilizan las habilidades y destrezas del personal (habilidad creativa, física y mental).

Ohno [59] considera el desperdicio como cualquier cosa que exceda la cantidad mínima de equipos, materiales, partes, espacio, mano de obra, absolutamente esencial para añadir valor al producto.

Todo el sistema del área de trabajo de una empresa está diseñado para reducir progresivamente los desperdicios. La clave está en reducir el desperdicio a través de esfuerzos realizados por grupos reducidos de trabajadores [60].

2.4 Factores Críticos de Éxito (FCE)

Desde la década de 1950 la mayor parte del trabajo en la gestión de proyectos se ha centrado en los problemas de programación de proyectos, en el supuesto de que el desarrollo de mejores técnicas de programación daría lugar a una mejor gestión y por lo tanto la finalización con éxito de los proyectos. Sin embargo, hay muchos factores fuera del control de la gestión, que podría determinar el éxito o el fracaso de un

proyecto. En la literatura, estos factores se conocen como factores críticos de éxito / fracaso y sólo unos pocos estudios se han realizado para evaluar, aclarar o analizar estos factores [2].

La idea de identificar y definir los factores críticos de éxito como elemento esencial en la implementación de cualquier proyecto de mejora en cualquier organización fue introducido por Rockart [61]. Los Factores críticos de éxito son aquellos factores de rendimiento que debe recibir la atención en curso de la gestión de la empresa, para seguir siendo competitivos [61]. En términos de gestión de conocimientos Wong [62] los define como aquellas actividades y prácticas que deben ser abordados con el fin de garantizar el éxito de su aplicación. Estas prácticas, ya sea que tenga que ser alimentado si ya existían o desarrollados si es que todavía no estaban en su lugar. Los FCE representan los ingredientes esenciales sin los cuales un proyecto tiene pocas posibilidades de éxito [63]. Si bien no destinados a fines de planificación estratégica, la identificación de los factores críticos de éxito puede ayudar a la alta dirección a través de: (1) determinar donde la gestión debe dirigir su atención; (2) el desarrollo de medidas de factores críticos de éxito; y (3) determinar la cantidad de información requerida y limitando así la recolección de datos innecesarios [61].

Hoy en día más y más gerentes de proyectos consideran la calidad siendo el objetivo más importante. La calidad puede ser asegurada mediante la identificación y eliminación de los factores que causan mal desempeño del proyecto. Por lo tanto, los gerentes de proyectos necesitan una mejor comprensión de los factores críticos de éxito / fracaso y cómo medirlos [2].

2.4.1 Factores Críticos de Éxito (FCE) de la Metodología *Lean Manufacturing*

A continuación, se describen los FCEs más importantes y sobresalientes encontrados en la revisión de literatura en proyectos de mejora de LM.

1. *Involucramiento y compromiso de la alta dirección.* La integración de las funciones de un sistema de producción requiere el compromiso de la alta dirección y comunicación en toda la organización [64]. La gerencia de la empresa recibe formación y entrenamiento sobre el trabajo en equipo y resolución de problemas, además proporciona recursos para mejorar los programas (económicos, espacio físico y tiempo) [65]. Involucramiento y compromiso de la gestión es la clave para la puesta en práctica de Lean en cualquier organización. La alta dirección incluye desde directores hasta altos ejecutivos de la organización. Su compromiso hacia la comprensión, aplicación y los objetivos dentro de la organización tiene mayor

influencia en el rendimiento y el éxito del programa de Lean [12]. Si los empleados no ven, sienten y creen en el compromiso real de la alta gerencia, nada más va a suceder. Este apoyo y participación no sólo debe ser verbal, sino demostrarlo con hechos, al estar involucrados en las actividades de las áreas de trabajo y programas de mejora continua [66]. El involucramiento y el compromiso de la alta dirección es una clave para la implementación Lean Six Sigma en cualquier organización. Incluye a la alta gerencia, directores y director ejecutivo de la organización. Su compromiso con la comprensión, la implementación y los objetivos dentro de la organización tiene la mayor influencia en el desempeño y el éxito del programa Lean Six Sigma. Sin un compromiso serio por parte de la gestión, los resultados del programa estarán en duda [12].

2. *Educación y entrenamiento.* El entrenamiento continuo de los empleados debe ser aplicado a través de seminarios, cursos de entrenamiento y conferencias. El papel de la educación no debe ser olvidado en los programas de formación [67]. Las empresas necesitan promover activamente el desarrollo de una mano de obra multifuncional y flexible por medio de programas de capacitación y desarrollo para los empleados. Los trabajadores también necesitan entrenamiento para participar en actividades de mejora continua y técnicas de resolución de problemas. La formación es también esencial para las tareas relacionadas con el mantenimiento de herramienta y maquinaria. La educación y entrenamiento ayuda a los empleados a adquirir capacidades para aceptar nuevo conocimiento y hacer uso de nuevas habilidades [68]. Los empleados están capacitados para hacer el trabajo en diferentes posiciones. Los grupos se organizan para hacer sugerencias sobre la mejora de productos/procesos o resolver problemas: círculos de calidad. El gerente de la empresa recibe entrenamiento sobre trabajo en equipo y resolución de problemas [65]. El entrenamiento cruzado implica cómo células de trabajo tienen que ser más autónoma y también el ritmo de producción se pueden modificar cambiando la rotación de personal de una célula, es esencial que los trabajadores se conviertan en empleados multifuncionales, esto también enriquece el contenido de su trabajo y mejora su perspectiva para la mejora de procesos [66].
3. *Liderazgo del proyecto.* Liderazgo Lean es un sistema metódico para la implementación sostenible y la mejora continua del sistema de producción Lean. En él se describe la cooperación de los empleados y líderes en su esfuerzo mutuo para alcanzar la perfección. Esto incluye el enfoque al cliente en todos los procesos, así como el desarrollo a largo plazo de los empleados y líderes [69]. El gerente del proyecto es el líder del equipo y, por lo tanto, juega un papel

importante en la coordinación de las obras de todos los miembros del equipo [70]. El liderazgo es responsable de impulsar las iniciativas de cambio. El cambio debe venir desde arriba; un enfoque de “abajo hacia arriba” rara vez tiene éxito [71]. Liderazgo del proyecto es el factor más crítico, ya que se manifiesta en un líder que tiene una visión del futuro estado del negocio, comunica la visión, impulsa la participación y cambio cultural en toda la organización, y está a diario en la planta de producción esperando ver mejoras en los procesos [72]. Desarrollar líderes sobresalientes que entienden y apoyan la filosofía y sabiduría de la empresa. Esto significa identificar y crear líderes dentro de la organización que realmente entienden y comparten la sabiduría, y que sean vistos como modelos a seguir por otros [73].

4. *Enfoque al cliente.* Las opiniones de los clientes se consideran para la aplicación de los procesos, modificaciones y sus diseños. Se deben aplicar metodologías para entender la voz del cliente [65]. Proporcionar un flujo continuo de información y retroalimentación con todas las partes interesadas dentro del proceso. Crear y mantener relaciones con los clientes con base a sus requerimientos generados, soporte y servicio al producto y basado en la solución de problemas [71]. En los sistemas el objetivo principal es el servicio al cliente externo; ejemplo soporte de producto y solución de problemas, gestión de quejas, reparación/reacondicionamiento, selección en la eliminación del desperdicio y cambio de diseño en la ingeniería [39]. Los clientes son los que determinan el flujo de valor en la fabricación ajustada proceso, por lo tanto, la empresa debe ser capaz de reconocer los requisitos de los clientes y deben organizar las actividades que pondrían los productos a su disposición [39], en este sentido, estudios como los de Flynn [39] dejó en claro que Enfoque al cliente es un FCE que permite comunicación abierta con los clientes y les ayuda a monitorear sus requisitos, además de ayudar a identificar mejoras necesarias si no se cumplen.
5. *Vinculación de Lean a proveedores.* La red de abastecimiento en una empresa juega un papel clave en el diseño de productos, procesos y sistemas, por lo tanto, ayudan a mejorar continuamente. Los proveedores son cruciales, en particular, cuando las empresas se vuelven cada vez más globales [73]. En la investigación de Motwani [74] la compañía trabajó muy de cerca con los proveedores relacionados durante el proceso de implementación de *Lean Manufacturing* incluso permitiendo a los vendedores proporcionar entradas sobre cómo mejorar su sistema. Cuando se presentaban los problemas, los gerentes se reunían para discutirlos y ponerse en contacto con los proveedores para arreglarlos. La compañía también proporcionó oportunidades para los proveedores de poder ser

entrenados en las prácticas de *Lean Manufacturing*. En la creación de un sistema de producción ajustada, y una verdadera cultura, la relación entre cliente, proveedores y el sistema actual de producción son cruciales [75]. En muchos casos una estrecha colaboración con los proveedores y clientes podrían ayudar a reducir los plazos de entrega, para reducir el desperdicio por manejo de material y hacerlos participar en la planificación de necesidades de materiales [76].

2.5 Instrumento de medición

Para Grasso [77] la encuesta es un método de investigación importante, un procedimiento que permite explorar cuestiones que hacen a la subjetividad y al mismo tiempo obtener esa información de un número considerable de personas. Hace posible el registro detallado de los datos, el estudiar una población a través de muestras con garantías de representatividad, la generalización de las conclusiones con conocimiento de los márgenes de error y el control de algunos factores que indiquen sobre el fenómeno a observar [77]. Dicho de otra manera, el cuestionario es un instrumento para la recogida de información, diseñado para cuantificarla y universalizarla [78].

2.5.1 Definición del constructo

Al construir un instrumento debe tenerse claridad de los objetivos de la investigación y de las teorías generales y sustantivas que fundamentan y definen la opción teórica de la investigación [79]. Antes de proceder a medir algo, se debe tener una idea muy clara de lo que se quiere medir; a eso se le llama «definir el constructo». Ello puede requerir la realización de una revisión de la bibliografía y la consulta con expertos en la materia. Sean actitudes, conductas o conocimientos, se debe definir en forma clara y precisa el objeto de la medida y, a ser posible, determinar y conocer las teorías que sustentan la definición que se acuerde [78]. Montero [80] define constructo como una conceptualización que requiere de un marco teórico para ser definido. En general, las conceptualizaciones que estudian los investigadores científicos presentan la característica de que no existe un claro consenso a nivel social en cuanto a cómo definirlos o medirlos, sino que para lograrlo se debe contar con una teoría que los sustente. Otra característica fundamental de los constructos es que no son directamente observables y su “captura” a nivel empírico requiere generalmente de rigurosos procedimientos. En este caso los constructos de esta investigación se definieron mediante una revisión de literatura a nivel mundial, se tomaron en cuenta trabajos y artículos sobre FCEs en proyectos de mejora continua como *Lean Manufacturing*, *Lean Seis Sigma*, *Seis Sigma*, entre otros.

2.5.2 Escala de Medición

El propósito de la escala va a determinar en gran medida el contenido de sus ítems y algunos aspectos relacionados con su estructura y la logística de la recogida de los datos. El ítem es la unidad básica de información de un instrumento de evaluación, y generalmente consta de una pregunta y de una respuesta cerrada [78]. La escala es también una medida compuesta, pero sólo relaciona variables de la misma naturaleza y, en general, se usa para medir constructos complejos como actitudes, valores, habilidades intelectuales y rasgos de personalidad [80]. Las escalas de Likert, están formadas por un conjunto de preguntas referentes a actitudes, cada una de ellas de igual valor. Los sujetos responden indicando acuerdo o desacuerdo. Se establecen generalmente cinco rangos, pero pueden ser tres, siete, o más. La construcción de una escala de Likert consiste en la operacionalización de cada una de las variables, es decir, en señalar la forma en que va a ser medida. Esta forma señala los indicadores objetivos que serán tomados en cuenta para la asignación de ponderaciones o números [81]. Dado que lo que se está diseñando es una escala de medición que permita tener una puntuación de un aspecto de la salud, y poder comparar la de diferentes individuos o la del mismo individuo en diferentes momentos, se debe asegurar que el instrumento de medida sea fiable y válido [78].

2.5.3 Validación del cuestionario

Dentro del proceso de validación tenemos dos componentes para que una escala cumpla su objetivo: el primero es la confiabilidad, que indica si la cuantificación es exacta y, el segundo es la validez que alude a si el instrumento mide lo que dice medir y si esta medición es estable en el tiempo [82].

2.5.3.1 Confiabilidad del cuestionario

La confiabilidad de una escala se refiere a su capacidad para dar resultados iguales al ser aplicada, en condiciones iguales, dos o más veces, a un mismo grupo de sujetos. La confiabilidad es sinónimo de estabilidad y predictibilidad [81]. Según Arribas [78] Confiabilidad es el grado en que un instrumento mide con precisión, sin error. Indica la condición del instrumento de ser fiable, es decir, de ser capaz de ofrecer en su empleo repetido resultados veraces y constantes en condiciones similares de medición. De acuerdo con la Teoría Clásica de los Test, la confiabilidad se define como el grado en que un instrumento construido por varios ítems presenta una alta correlación y miden consistentemente una muestra. Dicho de otra manera, confiabilidad se refiere a consistencia interna del instrumento es decir la interrelación entre las preguntas que forman parte de la escala [79].

Desde el punto de vista de la consistencia interna del instrumento, una de las medidas más importantes que se usa para establecer el grado de confiabilidad de una escala es el Alpha de Cronbach, para su correcta aplicación se requiere que el instrumento sea unidimensional, es decir que esté midiendo una sola cosa, tal como en las escalas [80]. Se le conoce como coeficiente de alpha de Cronbach porque fue determinado por Lee J. Cronbach en 1951 [83]. Para Cortina [84], el coeficiente alpha de Cronbach es un índice usado para medir la confiabilidad del tipo de consistencia interna de una escala, es decir, para evaluar la magnitud en que los ítems de un instrumento están correlacionados.

El valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0.70 [85] ; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Por su parte, el valor máximo esperado es 0.90. Usualmente se prefieren valores de alfa entre 0.80 y 0.90 [86]. La fórmula para calcular el alpha de Cronbach a partir de la varianza es [83]:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right] \quad (1)$$

Donde,

α = Alpha de Cronbach

k = Número de ítems

V_i = Varianza del ítem i

V_t = Varianza total

2.5.3.2 Validez del cuestionario

El concepto de validez se refiere al grado en que una prueba o escala mide aquello que se propuso medir [81]. Arribas [78] define la validez como el grado en que un instrumento de medida mide aquello que realmente pretende medir o sirve para el propósito para el que ha sido construido. La validez permitirá realizar las inferencias e interpretaciones correctas de las puntuaciones que se obtengan al aplicar un test y establecer la relación con el constructo/variable que se trata de medir. Entre los distintos tipos de validez (de contenido, de criterio y de constructo), esta última es la de mayor interés, ya que incorpora en gran parte las anteriores y es idónea para la evaluación de cuestionarios [87]. La validez de constructo evalúa el grado en que el instrumento refleja la teoría del fenómeno o del concepto que mide. También

garantiza que las medidas que resultan de las respuestas del cuestionario pueden ser consideradas y utilizadas como medición del fenómeno que se quiere medir. Puede calcularse por diversos métodos, pero el más frecuente es el análisis factorial [78].

A su vez, la validez de constructo se divide en nomológica, convergente y discriminante [87]. La validez nomológica se prueba examinando si las correlaciones entre los constructos en una teoría de medición tienen sentido [88]. La validez nomológica se refiere a que las medidas válidas de diferentes conceptos teóricamente vinculados deben estar relacionadas de acuerdo con las teorías correspondientes [87].

Los ítems que son indicadores de una construcción específica deben converger o compartir una alta proporción de varianza en común, conocida como validez convergente. Para estimar la cantidad relativa de validez convergente entre las medidas de los ítems, la carga factorial se considera como la más importante. Una alta validez convergente, se confirma con el cálculo de la varianza media extraída (AVE por sus siglas en inglés), la cual considera como mínimo 0.5, idealmente 0.7 o más. Un valor del AVE de 0.5 o superior es una buena regla general que sugiere una convergencia adecuada. Un valor del AVE menor de 0.5 indica que, en promedio, hay más errores en los elementos que la variación explicada por la estructura de factores latentes impuesta a la medida [88]. La validez discriminante es el grado en que un constructo es realmente distinto de otros. Por lo tanto, la alta validez discriminante proporciona evidencia de que un constructo es único y captura algunos fenómenos que otras medidas no. La validez discriminante, se mide a través de la comparación del AVE para dos constructos cualquiera con el cuadrado de la estimación de correlación entre los dos constructos, el AVE de cada constructo debe ser mayor que la estimación de la correlación al cuadrado entre los constructos [88].

2.6 Análisis factorial (Exploratorio y Confirmatorio)

Dentro de las técnicas estadísticas más utilizados para la contrastación de la validez de constructo destaca en mayor medida el Análisis Factorial (AF). En general, podemos decir que ésta es la técnica por excelencia utilizada para la validación de constructo [89]. A Spearman se le atribuye comúnmente el desarrollo inicial del análisis factorial. En su artículo de 1904, utilizó esta técnica para determinar si un factor de inteligencia general subyace al rendimiento individual en las pruebas. Su objetivo era explicar la relación entre varias variables observadas en términos de una sola variable latente. El objetivo principal es explicar las covarianzas o correlaciones entre muchas variables observadas por medio de relativamente pocas variables latentes subyacentes. En este sentido, es una técnica de reducción de datos [90]. El

AF es un modelo estadístico que representa las relaciones entre un conjunto de variables. Plantea que estas relaciones pueden explicarse a partir de una serie de variables no observables (latentes) denominadas factores, siendo el número de factores substancialmente menor que el de variables [91].

Conceptualmente, AF presenta dos tipos o modalidades diferentes: Análisis Factorial Exploratorio (AFE) y Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) [89]. El propósito principal de AFE es tratar de establecer una estructura subyacente entre las variables del análisis, a partir de estructuras de correlación entre ellas, o en otras palabras: busca definir grupos de variables (más conocidos como factores) que estén altamente correlacionados entre sí [92]. La aproximación inductiva o exploratoria supone delimitar un número amplio de indicadores que supuestamente miden el constructo. Seguidamente estos indicadores son analizados mediante AFE para buscar patrones de relación entre los indicadores y, finalmente, a posteriori, se pone nombre a esos patrones de relación, definiendo de esta forma el constructo [89].

Se habla de AFC cuando el investigador tiene suficientes conocimientos previos para formular hipótesis concretas sobre la relación entre indicadores y dimensiones latentes, su interés se centra en contrastar estas hipótesis. Al traducir o adaptar cuestionarios ya desarrollados se sabe qué ítems deberían medir qué dimensiones. El modelo de análisis factorial confirmatorio corrige las deficiencias inherentes a la perspectiva exploratoria y conduce a una mayor concreción de las hipótesis que deben ser contrastadas [87].

En la aproximación deductiva o confirmatoria el constructo no se mide en el vacío. La contrastación de las hipótesis estructurales que pone de manifiesto la teoría determinará la validez del mismo. Esta aproximación va desde la teoría hacia los hechos. En los procedimientos de AFC, por otra parte, se comienza con un modelo teóricamente plausible asumido para describir y/o explicar los datos empíricos. La construcción del modelo está basada o una información a priori sobre la naturaleza de la estructura de los datos, o bien en una teoría sustantiva en el campo de trabajo del que se trate [89].

2.7 Modelo de medición

El modelo de medición representa las relaciones de las variables latentes (constructos) con sus indicadores (variables observables) [93]. La figura 7 corresponde al modelo de medición de las Xs, la figura 8 representa al modelo de medición de las Ys.

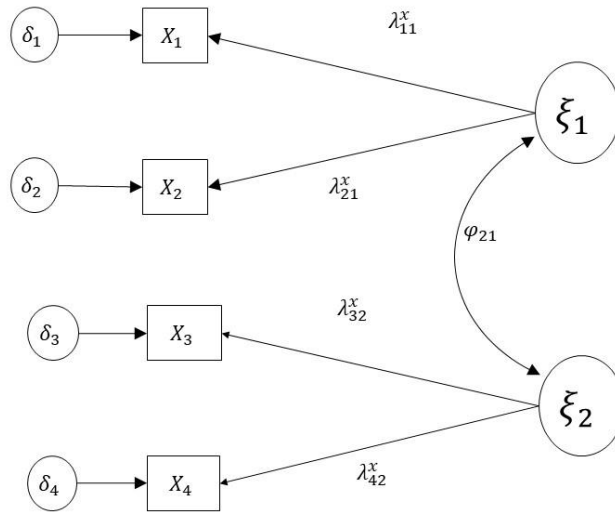


Figura 7. Modelo de medición para las Xs.

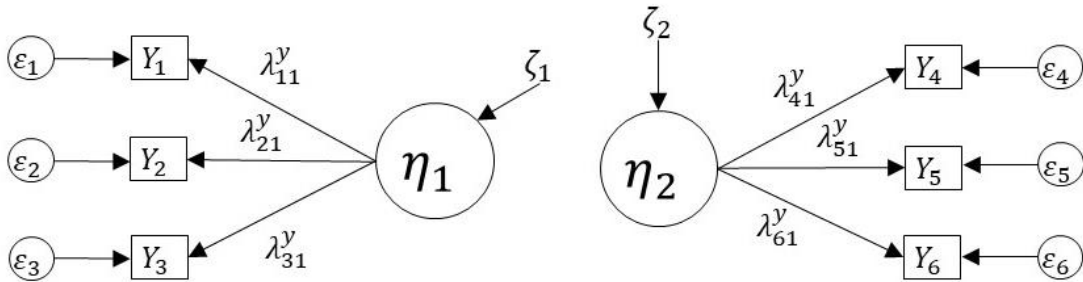


Figura 8. Modelo de medición para las Ys.

2.7.1 Especificación del modelo

Los modelos de medición y estructural son especificados tomando como base las investigaciones y teorías anteriores, comprendiendo la revisión de literatura para justificar la selección de las variables observadas como indicadores de las variables latentes, asimismo, comprende la teoría que soporta las relaciones entre las variables latentes del modelo estructural [94]. En esta etapa se establece formalmente el modelo, se representa la teoría en forma visual mediante un diagrama de trayectoria o senderos, se definen las variables exógenas y endógenas, se definen las relaciones hipotéticas entre las variables observadas y latentes [88]. Para Schumacker y Lomax [94], en la etapa de especificación del modelo se tiene que determinar cada relación y

parámetro de interés en el modelo, para el investigador es de suma importancia determinar el modelo teórico que generará una matriz de covarianza similar a la matriz de varianza-covarianza de la muestra, si el modelo teórico está mal especificado, se pueden producir estimaciones sesgadas de los parámetros, es decir, estimaciones que son diferentes de lo que son en el modelo de población real, esto se considera un error de especificación.

2.7.1.1 Tipos de parámetro

En los modelos de ecuaciones estructurales (SEM por sus siglas en inglés) existen tres tipos de parámetros a considerar para realizar el análisis en el modelo, los parámetros libres, fijos y restringidos. Un parámetro libre, es aquel cuyo valor es desconocido y por lo tanto se debe estimar, por ejemplo: las varianzas que corresponden a las variables independientes, las covarianzas entre variables independientes, todos los coeficientes que conectan a las variables latentes con sus respectivas variables observadas, los que conectan a variables latentes con latentes y los que conectan a variables observables con observables. Los parámetros fijos tienen un valor establecido de inicio igual a una constante dada, se consideran fijo porque no cambian su valor durante el proceso de ajuste del modelo, generalmente tienen valores de 0 o 1. Finalmente, los parámetros restringidos, son aquellos sobre los que se formula una suposición sobre sus valores, generalmente en términos de una hipótesis, por lo que se igualan a un valor particular, por ejemplo cero, o se asume que son iguales a otro u otros parámetros del modelo [95].

2.7.2 Identificación del modelo

Es de suma importancia tener claro si un modelo es identificable o no lo es, de manera general la cuestión de la identificación está ligada con el asunto de si existen o no un grupo de parámetros únicos que sean consistentes con los datos. Si se puede encontrar una solución única para los valores de los parámetros estructurales entonces, el modelo es identificable, por lo tanto, los parámetros del modelo se podrán estimar y el modelo se podrá evaluar; por otro lado, si un modelo no puede ser identificado, habrá muchos grupos de parámetros estimados, con diferencias entre sí, entonces, cualquier grupo de valores resultaría en soluciones que no son aceptables [96]. Para Khine [97], en la etapa de identificación del modelo existe la preocupación de si es posible obtener un valor único para cada parámetro libre a partir de los datos observados, esto dependerá de la elección del modelo y la especificación de los parámetros fijos, libres y restringidos. Por lo anterior, podemos decir que la identificación del modelo consiste en asegurar que todos los parámetros se puedan estimar, es decir, que exista una solución única para cada uno de los parámetros. Se

debe asegurar que al menos se dispone de una expresión algebraica que exprese cada parámetro en función de las varianzas y covarianzas muestrales. Existe una serie de reglas generales aplicables para identificar un modelo, una de las más frecuentemente utilizadas es la regla de los grados de libertad (GL), los cuales son obtenidos por la diferencia entre el número de varianzas y covarianzas y el número de parámetros a estimar. La fórmula para determinar los GL que representan el número de elementos en una matriz de correlación es la siguiente [97]:

$$GL = \frac{p(p + 1)}{2} \quad (2)$$

Donde p representa el número de variables observadas.

Hair et al., [88]; Khine [97]; Kline [98] y Byrne [93] afirman que existen tres niveles de identificación en los modelos estructurales, estos, pueden ser identificables (*just-identified*), sobre identificables (*over-identified*) y sub identificables (*under-identified*). El modelo identificable tendrá exactamente cero GL ($GL=0$), es decir, que existe una correspondencia uno a uno entre los datos y los parámetros a estimar, no obstante, esto demuestra un ajuste perfecto del modelo y no es de interés para los investigadores, ya que no es generalizable. Un modelo sobre identificable es aquel en el cual, el número de parámetros a estimar es menor que el número de varianzas y covarianzas de las variables observadas, lo que resulta en un número positivo de GL ($GL>0$), lo cual garantiza que el modelo sea generalizable ya que se tienen más información en la matriz de datos que el número de parámetros a estimar. Por último, un modelo sub identificable tiene un número de GL negativo ($GL<0$), lo que significa, que hay más parámetros a estimar que el número de varianzas y covarianzas, por lo que el modelo contiene información insuficiente para obtener una solución determinada, de esta manera, un número infinito de soluciones se pueden obtener. Uno de los objetivos en el uso de SEM, es encontrar el modelo más sencillo para representar las interrelaciones entre las variables que refleja con precisión las asociaciones observadas en los datos, por lo tanto, un alto número de GL implica un modelo más parsimonioso [97].

2.7.3 Estimación del modelo

La etapa de estimación de los parámetros del modelo implica determinar los valores de los parámetros desconocidos y su respectivo error de medición, sin embargo, antes de realizar la estimación del modelo, se deben resolver los problemas respecto a los datos a utilizar para la estimación de los parámetros [97].

2.7.3.1 Supuestos del modelo

Un punto muy importante para obtener buenos resultados en la estimación de los parámetros es verificar que los datos cumplen con el análisis de datos faltantes y de valores atípicos, la revisión de la normalidad univariada y multivariada, así como la multicolinealidad [88].

2.7.3.1.1 Datos faltantes

Los datos faltantes, suceden cuando los valores en una o más variables no están disponibles para el análisis. Se debe identificar los patrones y las relaciones subyacentes a los datos faltantes para mantener lo más cerca posible la distribución original de valores cuando se aplica algún remedio [88].

2.7.3.1.2 Datos atípicos

Los valores atípicos (outliers en inglés) son observaciones con una combinación única de características identificables como claramente diferentes de las otras observaciones [88]. Pero cuando se consideran más de dos variables, los investigadores necesitan un medio para medir objetivamente las posiciones multidimensionales de cada observación en relación con algún punto común, que es el caso de esta investigación, esto es solucionado a través de la distancia de Mahalanobis. Este último método estadístico indica la distancia en unidades de desviación estándar entre un conjunto de puntuaciones (vector) para un caso individual y la muestra significativa para todas las variables (centroides). Se ha recomendado un nivel conservador de significación estadística para esta prueba de $p < 0.001$ [98], donde se dice que si un vector tiene un valor $p < 0.001$ es un dato atípico.

2.7.3.1.3 Normalidad univariada

El supuesto de la normalidad univariada, para DeCarlo [99] una manera de medir la normalidad en cada una de las variables es a través del sesgo y la curtosis. Este autor menciona que un valor del índice de curtosis estandarizado en una distribución normal es igual a 3.0, un valor mayor que 3.0 indica curtosis positiva y un valor menor que 3.0 indica curtosis negativa, aunque Kline [98] considera que hay menos consenso sobre el índice de curtosis, pero se han descrito valores absolutos de alrededor de 8.0 a más de 20.0 de este índice como curtosis extrema. Una regla muy conservadora, entonces, parece ser que los valores absolutos del índice de curtosis mayor que 10.0 pueden sugerir un problema y los valores mayores que 20.0 pueden indicar uno más serio. Se ha demostrado que el sesgo afecta las pruebas de medias, la curtosis afecta

severamente las pruebas de varianzas y covarianzas [99] y, dado que el SEM se basa en el análisis de las estructuras de covarianzas, se hace mayor énfasis en el análisis de la curtosis [93].

Una distribución es insesgada o simétrica cuando los valores que están a la misma distancia de la media tienen igual frecuencia, mientras que es sesgada o asimétrica a la derecha (sesgo positivo) cuando los valores bajos de la variable son los más frecuentes y es asimétrica a la izquierda (sesgo negativo) en caso contrario. Mientras, la curtosis se refiere al grado de apuntamiento que presenta una distribución al compararla con la distribución normal. La distribución es leptocúrtica o curtosis positiva cuando más puntiaguda es y las colas son menos gruesas que la normal, la distribución es platicúrtica o curtosis negativa si es más aplanada y las colas más gruesas que la distribución normal, cuando es igual de apuntada que la normal se llama mesocúrtica. Las fórmulas para el cálculo del sesgo y la curtosis son:

$$Sesgo = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^3 \quad (3)$$

$$Curtosis = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (4)$$

2.7.3.1.4 Normalidad multivariable

Un prerrequisito para la evaluación de la normalidad multivariable es la necesidad de comprobar la normalidad univariada ya que esta última es una condición necesaria, aunque no suficiente, para la normalidad multivariada [99]. Por este motivo, una vez comprobada la normalidad de cada una de las variables observadas consideradas individualmente, se hace necesario también contrastar la hipótesis de normalidad multivariante, para tal cálculo, Mardia propuso algunas pruebas para contrastar si la asimetría y la curtosis multivariantes del conjunto de variables observables permite asumir o no la hipótesis de normalidad [100], [101]. Según Raykov y Marcoulides [102] en la investigación aplicada, la normalidad multivariable se examina utilizando el valor normalizado de la curtosis multivariable de Mardia. Esto se hace comparando el coeficiente de Mardia para los datos en estudio con un valor calculado basado en la fórmula $p(p+2)$ donde p es igual al número de variables observadas en el modelo. Este cálculo también fue realizado por Khine [97] donde describe un ejemplo y hace la comparación propuesta anteriormente y dice que, si se obtiene un valor menor al valor calculado con el número de variables del modelo, se puede decir que existe normalidad multivariada.

2.7.3.1.5 Multicolinealidad

La multicolinealidad en los datos puede ocurrir porque lo que parecen ser variables separadas realmente miden la misma cosa, según Khine [97] esto se refiere a situaciones en las que las variables medidas (indicadores) están demasiado relacionadas. La práctica habitual para verificar la multicolinealidad es calcular las correlaciones bivariadas para todas las variables medidas. Cualquier par de variables con una correlación mayor que $r = 0.85$ significa problemas potenciales [98]. Otro método para probar la multicolinealidad es analizar los factores de inflación de varianza (VIF por sus siglas en inglés). Si el índice VIF de una variable es mayor que 10, esa variable podría ser redundante [98].

2.7.3.2 Estimación de parámetros

Los métodos de estimación de los parámetros del modelo más empleados son máxima verosimilitud (ML por sus siglas en inglés), mínimos cuadrados no ponderados (ULS por sus siglas en inglés), mínimos cuadrados ponderados (WLS por sus siglas en inglés) y mínimos cuadrados generalizados (GLS por sus siglas en inglés) [103]. El proceso de estimación del modelo involucra determinar el valor de los parámetros desconocidos y el error asociado con el valor estimado, existe gran cantidad de software que se utiliza para la estimación de un SEM, entre los más destacados se incluyen a LISREL (Linear Structural Relations; Jöreskog & Sörbom [104], AMOS (Analysis of Moment Structures; Arbuckle [105], SAS (SAS Institute), EQS (Equations; Bentler [105]) y MPlus [97].

Cuando los datos cumplen los supuestos de normalidad multivariable, no hay datos faltantes, no hay valores se utiliza el método de ML, también es apropiado este método para variables con escalas de intervalo y que cumplan con los supuestos de normalidad multivariable [94].

2.7.4 Evaluación del modelo

Una vez estimado el modelo, para evaluar el ajuste del modelo, se compara la teoría con la realidad al valorar la semejanza de la matriz de covarianza estimada que representa la teoría con la matriz de covarianza observada que representa la realidad [88]. Byrne [93], señala que la evaluación del modelo es el grado en que un modelo hipotético describe debidamente los datos de la muestra, dicha evaluación, se enfoca en los criterios de ajuste por parámetros individuales y los índices de bondad de ajuste del modelo global.

2.7.4.1 Criterios de ajuste para parámetros individuales

Para Byrne [93], los criterios de ajuste por parámetros individuales son: la viabilidad de las estimaciones del parámetro, la adecuación de los errores estándar y la significancia estadística de las estimaciones del parámetro.

Viabilidad de las estimaciones del parámetro: Las estimaciones de los parámetros deben mostrar el signo y el tamaño correctos, y ser coherentes con la teoría subyacente, por lo que, cualquier estimación fuera del rango admisible indica claramente que el modelo es incorrecto. Por ejemplo, correlaciones mayores a 1.0, varianzas negativas y matrices de covarianza o correlación que no son definidas como positivas.

Adecuación de los errores estándar: El error estándar es un reflejo de la precisión con la que se estima un parámetro, si sus valores son pequeños, indica que la estimación es precisa. Por otro lado, un mal ajuste del modelo se puede deber a la presencia de errores estándar que son excesivamente pequeños o grandes. Para Bentler [106], si un error estándar está muy próximo a cero, el estadístico de prueba para su parámetro relacionado no se puede definir. Por su parte Jöreskow y Söborn [104] señalan que, si un error estándar es extremadamente grande, indica que el parámetro no se puede determinar.

Significación estadística: Los valores críticos representan la estimación del parámetro dividida por su error estándar, funcionan como el estadístico para probar que la estimación es diferente de cero basado en un nivel de confianza, si el valor crítico excede el valor esperado del nivel de confianza especificado, entonces el parámetro es significativamente diferente de cero.

2.7.4.2 Índices de bondad de ajuste del modelo

Los criterios de bondad de ajuste global determinan el grado en el que el modelo en conjunto, el de medida y el estructural, es capaz de predecir la matriz de correlación o covarianza observada entre los elementos del indicador, es decir, la semejanza de las matrices de covarianza observadas y estimadas [88]. En general, existen tres grupos de índices de ajuste del modelo: índices de ajuste absoluto, índices de comparación e índices de parsimonia.

2.7.4.2.1 índices de Ajuste Absoluto

Son una medida directa de que tan bien el modelo especificado reproduce los datos observados, estos, no comparan de forma explícita los índices de ajuste absoluto de un modelo específico con ningún otro modelo, más bien, cada modelo se evalúa independientemente de otros modelos posibles [88]. Los índices de ajuste de modelo que se usan comúnmente son chí-cuadrado (χ^2), el índice de bondad de ajuste (Goodness of Fit Index, GFI), el índice de bondad de ajuste ajustado (Adjusted Goodness of Fit Index, AGFI), el índice de aproximación de la raíz de cuadrados medios del error (Root Mean Square Error of Aproximation, RMSEA) y el índice de la raíz del cuadrado medio del residuo (Root Mean Square Residual, RMR) [94].

Chí-cuadrado χ^2 . Es la única prueba estadística de la diferencia entre la matriz de varianza-covarianza observada y la estimada y se representa matemáticamente con la ecuación 5 [88]:

$$\chi^2 = (N - 1)F_{min} \quad (5)$$

Donde N es el tamaño de muestra y F_{min} es el valor mínimo que toma la función de ajuste cuando se estimaron los parámetros. Un valor significativo de χ^2 en relación con los GL indica que las matrices de varianza-covarianza observadas y estimadas son diferentes, un valor no significativo de χ^2 en relación con los GL indica que las matrices de varianza-covarianza observadas y estimadas son similares [94]. En SEM la hipótesis nula es que la muestra observada y las matrices de covarianza estimadas son iguales, esto significa que el modelo se ajusta perfectamente. Al contrario de otras técnicas multivariadas, en SEM se busca que el valor de χ^2 sea relativamente pequeño y el valor del p -value sea mayor que el nivel de significancia, esto indica que no hay diferencia estadística significativa entre las dos matrices [88].

Este índice está limitado por el tamaño de la muestra, a medida que se incrementa dicho tamaño, el índice es mayor y aumenta la frecuencia con que se rechaza la hipótesis nula, esta es la razón por la cual no se usa como único criterio de bondad de ajuste, sino más bien como un complemento de otros índices de ajuste [103]. Uno de los primeros estadísticos de bondad de ajuste que se usó para manejar esta situación, fue la razón de χ^2/gl [107], esta razón de la chí cuadrada entre los grados de libertad es llamada por Hair et al. [88] como chi cuadrada normada y generalmente valores en el orden de 3:1 o menores se consideran buenos ajustes del modelo.

Índice de bondad de ajuste (GFI). Este índice se basa en la razón de la suma de la suma de las diferencias al cuadrado entre las matrices observada y la reproducida. El GFI mide la cantidad de varianza y covarianza en la matriz observada que se predice por la matriz reproducida. Si el GFI es 0.97 por ejemplo, significa que el 97% de la matriz S es predicha por la matriz reproducida Σ [94]. Matemáticamente se representa por la ecuación 6:

$$GFI = 1 - [\chi_{modelo}^2 / \chi_{nulo}^2] \quad (6)$$

Donde, χ_{nulo}^2 es el valor de la chí-cuadrada del modelo independiente reportado en las salidas de los programas computacionales. Par un buen ajuste el valor recomendado debe ser $GFI > 0.95$, un ajuste perfecto sería $GFI = 1.0$ [97].

Índice de bondad de ajuste ajustado (AGFI). Este índice es ajustado por los GL del modelo relativo al número de variables. Matemáticamente se expresa como la ecuación 7:

$$AGFI = 1 - \left[\left(\frac{k}{gl} \right) (1 - GFI) \right] \quad (7)$$

Donde k es el número de valores distintos únicos en S y los grados de libertad $gl = p(p+1)/2$ [94]. Para un buen ajuste el valor recomendado debe ser $AGFI > 0.95$, un ajuste perfecto sería $AGFI = 1.0$ [97].

Los índices GFI y AGFI se pueden usar para comparar el ajuste de dos modelos alternativos diferentes con los mismos datos o comparar el ajuste de un solo modelo con utilizando diferentes datos [94].

Índice de aproximación de la raíz de cuadrados medios del error (RMSEA). Este índice toma en cuenta los GL que se consideran una medida de la complejidad del modelo y el tamaño de la muestra [94]. Es un índice de "error de aproximación" porque evalúa la medida en que un modelo se ajusta razonablemente bien en la población [108]. Matemáticamente se expresa como:

$$RMSEA = \sqrt{\chi_{modelo}^2 - gl_{Modelo} / [(N - 1)gl_{Modelo}]} \quad (8)$$

Para Browne y Cudeck [109], valores menores a 0.05 indican un buen ajuste y valores mayores a 0.08 representan un error razonable de aproximación en la población. Por

otra parte, MacCallum, Browne y Sugawara [108], señalan que valores del RMSEA entre 0.08 y 0.10 indican un ajuste mediocre, valores mayores a 0.10 representan un ajuste pobre. Por último, Hu y Bentler [105] señalan que un valor de 0.06 indica un buen ajuste.

Índice de la raíz del cuadrado medio del residuo (RMR). Este índice, representa el valor residual promedio derivado de la adaptación de la matriz de covarianza para el modelo hipotético $\Sigma(\theta)$ a la matriz de varianza-covarianza de los datos de la muestra S [93]. El RMR se calcula matemáticamente de la siguiente manera:

$$RMR = [(1/k)\Sigma_{ij}(S_{ij} - \Sigma_{ij})^2]^{1/2} \quad (9)$$

Debido a que estos residuales son relativos a los tamaños de las variaciones observadas y las covarianzas, son difíciles de interpretar, por lo que es mejor interpretarlos en relación con la matriz de correlación [105]. El RMR estandarizado (SRMR), entonces, representa el valor promedio de todos los residuos estandarizados, y varía de 0.00 a 1.00; para un modelo bien ajustado es aceptado un valor de 0.04 o menos [93].

2.7.4.2.2 Índices de Comparación o Ajuste Incremental

Estos índices se diferencian de los índices de ajuste absoluto en que evalúan qué tan bien se ajusta el modelo estimado en relación con algún modelo de la línea base alternativo. El modelo de línea de base más común se conoce como un modelo nulo, uno que asume que todas las variables observadas no están correlacionadas. Implica que ninguna especificación del modelo podría mejorar el modelo, ya que no contiene factores de elementos múltiples o relaciones entre ellos. Esta clase de índices de ajuste representa la mejora en el ajuste por la especificación de construcciones de elementos múltiples relacionados. Entre los índices más utilizados son el índice de Tucker-Lewis (Tucker Lewis Index, TLI) y el índice de ajuste comparativo (Comparative Fit Index; CFI) [88].

Índice de Tucker-Lewis (TLI). Este índice se puede utilizar para comparar modelos alternativos o para comparar un modelo propuesto con un modelo nulo [94]. TLI se calcula utilizando la χ^2 de la siguiente forma:

$$TLI = [(\chi^2_{nulo}/gl_{nulo}) - (\chi^2_{propuesto}/gl_{propuesto})]/[(\chi^2_{nulo}/gl_{nulo}) - 1] \quad (10)$$

Schumacker y Lomax [94], señalan que el TLI está escalado de 0 (sin ajuste) a 1 (ajuste perfecto). Para Hu y Bentler [110], valores cercanos a 0.95 son indicativos de un buen ajuste.

Índice de ajuste comparativo (CFI). El índice refleja la falta relativa de ajuste de un modelo específico en comparación con el modelo de línea base. Está escalado de 0 a 1, los valores mayores a 0.95 indican un buen ajuste [97]. El CFI se obtiene de la ecuación 11:

$$CFI = 1 - \max[(\chi_T^2 - gl_T), 0] / \max[(\chi_T^2 - gl_T), (\chi_B^2 - gl_B), 0] \quad (11)$$

Donde, χ_T^2 es el valor χ^2 del modelo bajo evaluación, gl_T son los grados de libertad del modelo bajo evaluación; χ_B^2 es el valor χ^2 del modelo de línea de base (nulo), gl_T son los grados de libertad del modelo de línea de base.

Índice de Ajuste Normado (Normad Fit Index: NFI). Este índice se utiliza para comparar un modelo restringido con un modelo completo utilizando un modelo nulo de línea de base. El NFI se escala en un rango de 0 (no ajusta) a 1.0 (ajuste perfecto) [111]. Matemáticamente se expresa como:

$$NFI = (\chi_{nulo}^2 - \chi_{modelo}^2) / \chi_{nulo}^2 \quad (12)$$

2.7.4.2.3 Índices de Parsimonia

Estos índices suministran información sobre qué modelo entre un conjunto de modelos es el mejor, considerando su ajuste en relación con su complejidad. Una medida de ajuste de parsimonia se mejora ya sea por un mejor ajuste o por un modelo más simple. En este caso, un modelo más simple es uno con menos rutas de parámetros estimados [88]. La relación de parsimonia es la base de estas medidas y se calcula como la relación entre los grados de libertad utilizados por un modelo y los grados totales de libertad disponibles [112]. Para Hair et al., [88] el índice de parsimonia más utilizado es el índice de ajuste normado de parsimonia (Parsimony Normed Fit Index; PNFI); Shumacker y Lomax [94], además del PNFI sugieren el uso del criterio de información Akaike (Akaike Information Criterion; AIC).

Índice de ajuste normado de parsimonia (PNFI). El índice toma en cuenta el número de grados de libertad utilizados para obtener un nivel de ajuste dado [94]. Los valores relativamente altos representan un ajuste relativamente mejor [88]. Los valores del

PNFI se utilizan para comparar modelos con diferentes grados de libertad [94], [88]. Se expresa en forma matemática como:

$$PNFI = (gl_{propuesto}/gl_{nulo})/NFI \quad (13)$$

Criterio de información Akaike (AIC). El índice AIC se usa para comparar modelos con diferentes números de variables latentes y puede ser calculado de dos maneras diferentes, como $AIC = \chi^2 + 2q$; donde q = número de parámetros libres en el modelo y como $AIC = \chi^2 - 2gl$. La primera fórmula genera valores positivos, mientras que la segunda fórmula proporciona valores negativos, pero, para ambos, valores cercanos a cero indican un modelo más parsimonioso [94].

2.7.5 Modificación del modelo

Si el ajuste del modelo teórico no es aceptable, la siguiente etapa es modificar el modelo y subsecuentemente evaluar el nuevo modelo modificado, a este paso se le llama re-especificación [94]. Por su parte, Khine [97], señala que, al modificar un modelo, se agregan o eliminan parámetros para mejorar el ajuste, más aún, los parámetros se cambian de fijos a libres o viceversa. La mayoría de los softwares de SEM calculan índices de modificación (MI) para cada parámetro, también llamados índice de multiplicador de Lagrange (LM) o la prueba de Wald; estos MI reportan en cambio en el valor de la χ^2 cuando se ajustan los parámetros. El LM muestra hasta qué punto la suma de parámetros libres mejora el ajuste del modelo y la prueba de Wald cuestiona si la eliminación de los parámetros libres mejora el ajuste del modelo.

Otra forma de modificar el modelo es a través de los residuos normalizados o estandarizados que provienen de las diferencias entre las matrices de covarianzas o correlación observadas y las estimadas del modelo.

Para considerar un residuo significativo al nivel de 0.05, y considerarlo para una posible modificación en el modelo, el residual debe ser mayor que ± 1.96 ; para un nivel de significancia de 0.01, el residual debe ser mayor de ± 2.58 . Un residuo significativo representa que existe un error de predicción para un par de indicadores, pero no específica como se puede mejorar, para lo cual se debe resolver mediante la modificación del modelo con la incorporación o eliminación de relaciones [93].

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe cómo se obtuvieron los FCEs de proyectos de mejora de LM en los que se enfoca este estudio, la manera en que se realizó la revisión de literatura, para llegar a la operacionalización de dichos factores. Diseño, aplicación y validación del instrumento de medición y desarrollo del modelo de medición.

3.1 Determinación de los Factores Críticos de Éxito

Para identificar y determinar los FCEs dentro del sector de manufactura en México, se llevó a cabo una revisión de literatura a nivel mundial con el objetivo de visualizar aquellos FCEs que más se mencionan en las investigaciones de proyectos de mejora.

3.1.1 Revisión de literatura

Para la búsqueda exhaustiva de literatura se definieron los criterios que se incluyen para el estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Investigaciones de casos de estudios sobre *Lean Manufacturing* y Factores críticos de éxito en otras metodologías de mejora continua.
- Artículos de revistas, libros, tesis, trabajos de investigación reportados en conferencias y artículos de divulgación.
- Artículos de investigación donde se aplicaron encuestas y entrevistas sobre metodologías de *Lean Manufacturing*.

Los criterios de selección que se excluyen para este estudio son:

- Artículos que no abordaran casos de estudio de la metodología Lean.
- Artículos que no estudian FCEs.

Una vez definidos los criterios para la búsqueda de la información, se buscarán los artículos en la base de datos de la Universidad Autónoma de Baja California las cuales se encontraron las siguientes editoriales Ebsco Host, Elsevier, Emerald, Gale, IEEE, Springer, Wiley y Google Scholar. Las palabras claves para la búsqueda de los artículos son “Lean Manufacturing”, “Factores Críticos de éxito”, “Lean Seis Sigma”, “Kaizen”, “Gestión Total de la Calidad” y “Justo a Tiempo”, de tal manera que se incluyan todo tipo de investigación que se ha realizado en el tema.

Después de seleccionar cada publicación y revisión de literatura de cada uno, se tomó la información general a una base de datos como: título de la publicación, nombre del

autor, año de publicación, nombre de la revista, país, tipo de investigación (caso de estudio, encuesta, revisión de literatura o divulgación), así como lo más importante los FCE que se encontraron en tal estudio.

3.2 Instrumento para Recolección de Datos

Se diseñó un instrumento para recopilar la información el cual nos ayudó a conocer la situación actual de las empresas de manufactura con respecto a la implementación de proyectos de LM, la metodología utilizada para desarrollar y validar este instrumento comprende los pasos de la definición de los constructos e indicadores, la administración del instrumento, la recopilación de los datos y el análisis estadístico.

3.2.1 Diseño del instrumento

En esta etapa se elabora el cuestionario que surge a partir de los factores críticos encontrados en la revisión de literatura. Los factores encontrados son las variables a considerar, las preguntas y los ítems de cada apartado fueron definidos a partir de cuestionarios encontrados y reportados en la literatura. El cuestionario fue enviado a los gerentes o supervisores que estén directamente involucrados con los proyectos de mejora.

El primer paso en el diseño del instrumento es identificar los constructos que se tendrán en cuenta para el estudio. Por lo tanto se realizó una extensiva revisión de literatura sobre los FCEs de la implementación de metodología LM, 165 artículos fueron revisados para obtener los FCEs con el mayor número de menciones en la literatura; se encontraron de 21 FCEs, pero sólo los factores que componen un poco más del 65% de las menciones fueron seleccionadas para servir de base en el diseño del instrumento de medición. Los objetos de este estudio que conforman son: Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD), Liderazgo de Proyectos (LP), Educación y Entrenamiento (EE), Enfoque al cliente (EC), Vinculación Lean con los Proveedores (VLP) y Beneficios (B). Los seis FCEs representan las variables latentes estudiadas a través de la encuesta. Como estas variables no pueden ser medidas directamente, fue necesario hacer la operacionalización de las mismas [113], [114]; es decir, convertir las variables subjetivas en variables objetivas directamente observables [115], [104]. La encuesta final es el producto de tal operacionalización. Para lograrlo, fue necesario trabajar desde las definiciones conceptuales.

La puntuación del instrumento desarrollado en este estudio utiliza una escala de calificación tipo Likert de cinco puntos, que representa un rango de percepción de nunca (1) casi nunca (2), algunas veces (3), usualmente (4) y siempre (5). El uso de

los cinco puntos de la escala Likert en este tipo de estudio de gestión de operaciones es una opción popular para medir variables latentes a través de un conjunto de elementos relacionados [116], [117]. La encuesta fue revisada por seis académicos y expertos industriales de LM, para verificar la validez del contenido. Luego se modificó, según los comentarios de los expertos. Su estructura final consta de cinco secciones: la primera sección ofrece una breve introducción a los objetivos de la encuesta, mientras el segundo recopila información sobre la demografía datos de empresas. La sección tres evalúa el uso de CSF en proyectos LM, y la sección cuatro contiene un análisis de Herramientas LM. La última sección tiene como objetivo descubrir los beneficios para empresas que implementan proyectos de mejora utilizando LM.

3.2.2 Población objetivo y aplicación del instrumento

Este estudio se centra en las empresas grandes manufactureras (aquellas con más de 250 trabajadores) dentro del sector de fabricación de equipo de transporte en México. Las compañías fueron identificadas a través del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y representan el 23% del total de grandes empresas en el sector manufacturero mexicano [50]. La población objetivo de la encuesta fueron los empleados de nivel medio a superior administración; es decir, empleados clasificados de supervisores, en el extremo inferior, a líderes de proyectos, ingenieros, gerentes, y CEO, con experiencia en la implementación de proyectos LM. Se enviaron un total de 1,580 encuestas a través de diferentes medios como la plataforma SurveyGizmo, correo electrónico, visitas personales, y la red LinkedIn; el número de completo de respuestas fueron 270, lo que equivale a una tasa de respuesta del 17%. El puesto que reportó la tasa de participación más alta fue Ingeniero de Producto y Proceso, con 20%. Los siguientes fueron Ingenieros de diseño/desarrollo de productos con 18%; y por último, los puestos de Liderazgo y Supervisor del proyecto, cuya participación reportada fue del 12% para cada puesto.

3.2.3 Validez y confiabilidad del instrumento

La validación del cuestionario involucra dos pruebas: confiabilidad y validez. El análisis factorial se utilizó para medir la fiabilidad y la validez de las variables indirectamente observables [95]. Primero, se verificaron cuatro aspectos importantes a considerar en la validación de las encuestas [93], [88]: datos faltantes, valores atípicos, supuestos de normalidad univariada y multivariada y multicolinealidad. Para evitar la falta de datos, solo se registraron encuestas completas en el programa utilizado para administrar la encuesta. Luego se verificó la base de datos para identificar valores atípicos, observaciones con una combinación única de

características identificables que difieren claramente de las otras observaciones [88]. Esto se logró mediante el uso de la distancia Mahalanobis. Se eliminaron un total de 30 encuestas identificadas como valores atípicos, ya que no cumplían con un nivel conservador de significancia estadística, donde según lo recomendado por Kline, $p < 0.001$ [98]. Por lo tanto, los siguientes cálculos para la validación de la encuesta se realizaron considerando solo 240 respuestas. Lo anterior era necesario para mejorar la normalidad de la base de datos, ya que, al cumplir con esta suposición, el método de máxima verosimilitud se puede utilizar para extraer el factor [94], tal como lo hizo este trabajo de investigación.

Como segundo paso se realiza un AFE de la matriz de correlaciones entre las variables, el AFE dictará las dimensiones latentes y sus resultados se utilizarán como indicadores de la validez de los constructos que fueron propuestos en el cuestionario. Finalmente, para evaluar la confiabilidad y consistencia de los hallazgos, se sigue un enfoque confirmatorio, es decir, después de realizar el AFE, se lleva a cabo un AFC utilizando para ello el software SPSS Amos, versión 23.0 [118].

3.2.4 Especificación del modelo

En esta etapa se desarrolló un modelo teórico basado en la revisión de literatura previamente realizada para determinar los FCE como constructos y sus ítems para medirlos, estos fueron validados a través de un AFC. La Figura 9 muestra el modelo de medición teórico propuesto, el cual se compone por 6 factores o constructos representados por las elipses y son: Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD), Liderazgo de Proyectos (LP), Educación y Entrenamiento (EE), Enfoque al Cliente (EC), Vinculación Lean con los Proveedores (VLP) y Beneficios (B).

Las 31 variables observables, representadas por rectángulos, cargan sobre los factores o constructos de la siguiente forma: en el factor ICAD (ICAD1, ICAD2, ICAD3, ICAD4 y ICAD5); para LP (LP1, LP2, LP3, LP4 y LP5); en EE (EE1, EE2, EE3, EE4 y EE5); en EC (EC1, EC2, EC3, EC4 y EC5); para VLP (VLP1, VLP2, VLP3, VLP4 y VLP5); y en B cargan (B1, B2, B3, B4, B5 y B6). Cada una de estas variables observables cargan en uno y solo un factor. Los errores de medición asociados con cada una de las variables observables no están correlacionados.

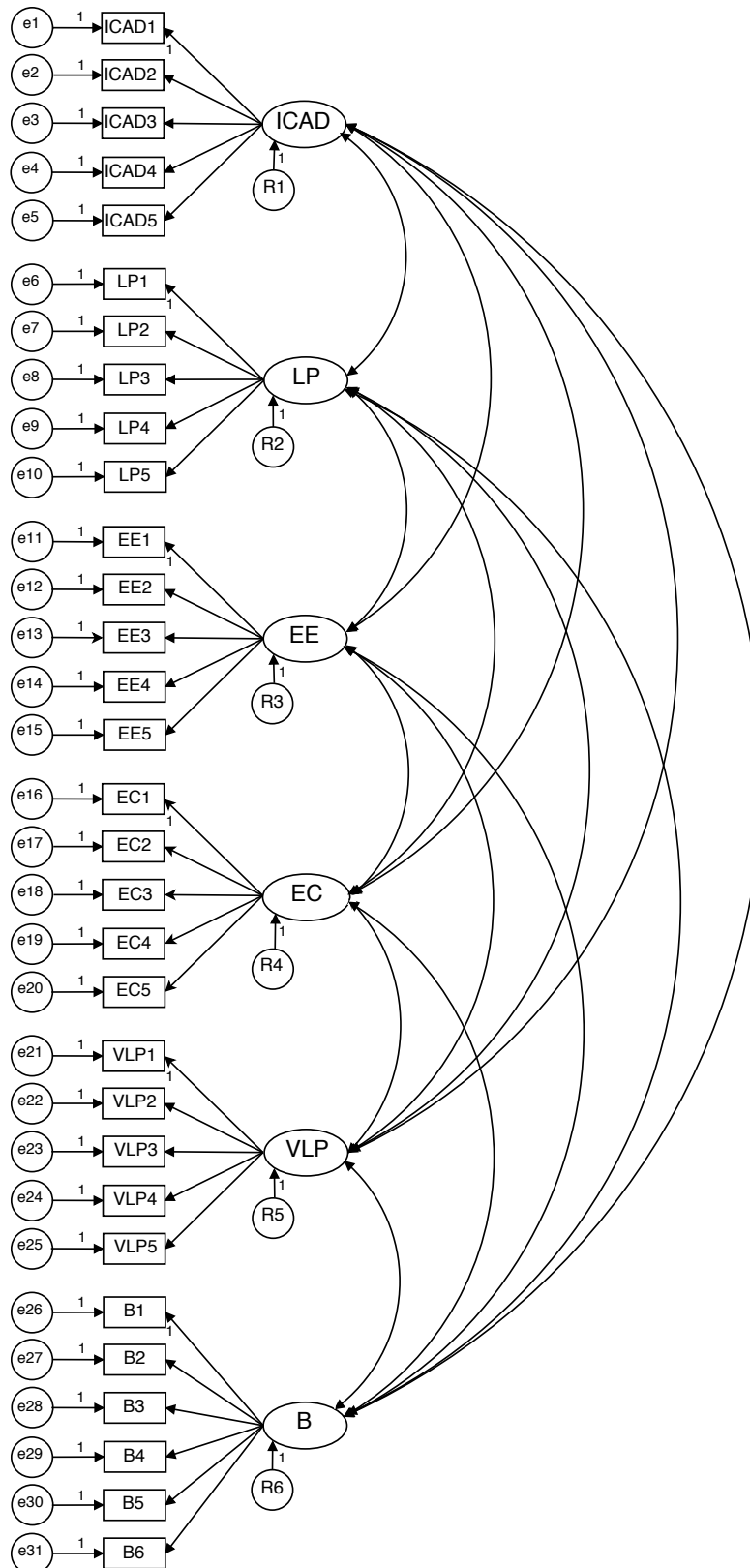


Figura 9. Modelo de medición teórico propuesto

3.2.5 Identificación del modelo

La identificación del modelo está centrada en la medida en que se puede inferir un conjunto único de valores para los parámetros desconocidos a partir de la matriz de covarianza dada de las variables analizadas que se reproducen en el modelo, entonces, es necesario determinar el número de distintos valores en la matriz S (matriz muestral de covarianzas), a través de la ecuación $p(p+1)/2$; donde p es el número de variables observadas en la matriz muestral de varianzas-covarianzas.

Un modelo está identificado si $GL \geq 1$. Si $GL=0$, indica que el modelo está saturado, es decir, el número de parámetros a estimar es igual al número de distintos valores en la matriz muestral de varianzas-covarianzas. Un modelo sub-identificado ocurre cuando si $GL < 0$, esto significa que, hay más parámetros a estimar que el número de distintos valores en la matriz S . En el caso de SEM, se requiere que el modelo sea sobre-identificado, es decir, que los $GL \geq 1$, esto significa que, el número de distintos valores en la matriz S es mayor que el número de parámetros a estimar.

3.2.6 Estimación del modelo

La estimación del modelo permite calcular de manera única el valor estimado de cada uno de los parámetros libres y se reduce a probar que la matriz de varianzas y covarianzas poblacional es igual a la matriz de varianzas y covarianzas asociada al modelo teórico propuesto, es decir, $\Sigma = \Sigma(\Theta)$ donde Σ es la matriz poblacional y $\Sigma(\Theta)$ es la matriz asociada al modelo propuesto. En la práctica se utiliza a la matriz de varianzas y covarianzas de la muestra (S) como estimador de Σ y a la diferencia entre las dos matrices se le llama residuo y significa la diferencia entre los datos observados y las estimaciones hechas por el modelo.

El método de Máxima Verosimilitud (MV) es probablemente el más utilizado bajo el supuesto de normalidad de los datos, aún bajo pequeñas desviaciones es adecuado [90]. Bajo este sentido, para la estimación del modelo propuesto se utilizó el método de MV ya que los datos cumple con el análisis de datos faltantes y valores atípicos, así como los supuestos de normalidad univariada, normalidad multivariable y multicolinealidad que recomienda Hair et al. [88] antes de la estimación del modelo. El proceso de estimación de los parámetros bajo el método de MV se llevó a cabo a través del software SPSS 22.0 y AMOS 23.0 para los datos obtenidos de la aplicación del cuestionario en el subsector de fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera mexicana.

3.2.7 Evaluación del modelo

Una vez estimado el modelo, se evalúa el ajuste del modelo, es decir, el grado en que el modelo propuesto describe los datos de la muestra; la evaluación se enfoca en los criterios de ajuste por parámetros individuales y los índices de bondad de ajuste del modelo global. Los criterios de ajuste por parámetros individuales son la viabilidad de las estimaciones del parámetro (deben mostrar el signo y tamaños correctos y ser coherentes con la teoría), la adecuación de los errores estándar (tamaños del error) y la significancia estadística de las estimaciones del parámetro (para un nivel de significancia $\alpha=0.05$ se encuentran los parámetros significativamente diferentes de cero). Los criterios de bondad de ajuste global determinan el grado en el que el modelo en conjunto, el de medida y el estructural, es capaz de predecir la matriz de correlación o covarianza observada entre los elementos del indicador, es decir, la semejanza de las matrices de covarianza observadas y estimadas. En general, existen tres grupos de índices de ajuste del modelo: índices de ajuste absoluto, índices de comparación e índices de parsimonia.

3.2.8 Modificación del modelo

Si el ajuste del modelo teórico no es aceptable, la siguiente etapa es modificar el modelo y subsecuentemente evaluar el nuevo modelo modificado. Al modificar el modelo, se agregan o eliminan parámetros para mejorar el ajuste, más aún, los parámetros se cambian de fijos a libres o viceversa. La mayoría de los softwares de SEM, calculan índices de modificación (MI) para cada parámetro y muestran hasta qué punto la suma de parámetros libres mejora el ajuste del modelo. Otra forma de modificar el modelo es a través de los residuos normalizados o estandarizados que provienen de las diferencias entre las matrices de covarianzas o correlación observadas y las estimadas del modelo. Para considerar un residuo significativo al nivel de 0.05, y considerarlo para una posible modificación en el modelo, el residual debe ser mayor que ± 1.96 ; para un nivel de significancia de 0.01, el residual debe ser mayor de ± 2.58 . Un residuo significativo representa que existe un error de predicción para un par de indicadores.

4 RESULTADOS

Este estudio utilizó un diseño de encuesta transversal para recopilar datos sobre la implementación de los FCEs de LM al desarrollar proyectos de mejora en la industria del sector de Manufactura de Equipo de transporte en México. La metodología adoptada para desarrollar y validar el instrumento de recolección de datos (encuesta), es la utilizada para medir las variables en las ciencias sociales utilizando el método psicométrico [119]. Este método ha sido utilizado como referencia por los investigadores para desarrollar y validar encuestas [39], [120], [121]. El proceso para el diseño y validación de encuestas se desarrolló en tres etapas, que se analizan a continuación: 1) Diseño del instrumento, el cual consta de la definición del constructo y definición del indicador, 2) La administración del instrumento, la cual incluye la recopilación de datos y, 3) El análisis estadístico para la validación del instrumento, el cual consta de la verificación de supuestos, el análisis de los datos a través del análisis factorial y la validación del constructo. Por último, se realizó una evaluación del nivel de implementación percibido de los FCEs, al realizar proyectos de mejora LM en el sector de estudio.

4.1 Diseño del instrumento

El primer paso en el diseño del instrumento es identificar los constructos que se van a tomar en cuenta para el estudio, para lo cual se realizó una extensa revisión de literatura utilizando las bases de datos Ebsco Host, Elsevier, Emerald, Gale, IEEE, Springer, Wiley y Google Scholar. Los criterios de inclusión fueron publicaciones de los últimos diez años sobre los FCEs en la implementación de proyectos de mejora utilizando técnicas y herramientas de LM. Las palabras claves para la búsqueda de los artículos fueron: *Lean Manufacturing*, Factores Críticos de Éxito, Lean Seis Sigma, Kaizen, Total Quality Management y Just in Time.

Finalmente, se identificaron 165 artículos para su revisión, con base en esta revisión se obtuvieron las frecuencias de los FCEs con mayor cantidad de menciones en la literatura, lo que resultó en un total de 21 FCE. Posteriormente, como la base para el diseño del instrumento de recolección de datos, se seleccionaron los factores que conforman más del 65% de las menciones. La Tabla 3 enumera estos FCE con sus respectivas definiciones conceptuales y referencias. Los factores resultantes del análisis y, objeto de estudio del presente trabajo son: Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD), Liderazgo de Proyectos (LP), Educación y Entrenamiento (EE), Enfoque al Cliente (EC), Vinculación Lean con Proveedores (VLP) y Beneficios (B).

Tabla 3. Definición conceptual de los constructos

Constructo	Descripción
Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD)	Cualquier iniciativa exitosa requiere la participación de la alta dirección y la provisión de recursos y formación adecuados [122]. Sin el apoyo y el compromiso continuos de la alta dirección, la verdadera importancia de la iniciativa estará en duda y la energía detrás de ella se debilitará [123], [10].
Liderazgo de Proyectos (LP)	La efectividad del liderazgo permite a los empleados participación en la actividad de mejora continua, comunicación y colaboración efectiva, mejor difusión de la información de operación y estrategia de organización en la gestión de la mejora de la calidad [7].
Educación y Entrenamiento (EE)	Un programa integral de capacitación y educación proporciona las herramientas, el conocimiento y la metodología necesarios para un enfoque sistemático en la resolución de problemas. Sin la capacitación y educación adecuadas, es poco probable que una planta tenga éxito con su implementación ajustada [124], [8].
Enfoque al Cliente (EC)	Centrarse en la necesidad y satisfacción del cliente debería ser la práctica más importante para implementar iniciativas de calidad [125], [126] [127]. Por lo tanto, las organizaciones deben ser conscientes y responsables de escuchar la voz de los clientes [128], satisfacer sus necesidades y expectativas [129] y predecir su demanda [7].
Vinculación Lean con los Proveedores (VLP)	Esta construcción es importante para mejorar el producto de diseño de calidad, mejorar el sistema y la gestión de los pedidos de compra, mejorar la relación de cooperación a largo plazo y mejorar la asociación estratégica [130], [131]. Este vínculo es mutuamente beneficioso, ya que ayudará a ambas partes a competir más efectivamente en el mercado [132].
Beneficios (B)	Un beneficio está asociado con una acción o resultado positivo que favorece a las personas y a la organización [117], el beneficio de implementar la metodología LM se refleja a través de una reducción gradual de actividades y elementos que no agregan valor a la organización [133].

4.1.1 Operacionalización de las variables

Los seis FCEs representan las variables latentes estudiadas a través de la encuesta. Dado que estas variables no pueden medirse directamente, fue necesario operacionalizarlas [113], [114], es decir, convertir las variables subjetivas en variables objetivas directamente observables [104]. La encuesta final es el producto de tal operacionalización. Para lograrlo, fue necesario trabajar a partir de las definiciones conceptuales de la Tabla 3. A continuación, se procedió a enumerar una serie de indicadores para cada constructo, y luego se aportó al menos un ítem que permitiera medir el indicador.

Tabla 4. Operacionalización de las seis variables latentes

Construto / variable latente	Indicadores	Ítems
Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD)	Seguimiento de proyectos	<i>ICAD1.</i> La alta dirección apoya y participa activamente en las actividades de mejora de LM (formación, selección de proyectos, revisión de etapas y evaluación de resultados) [134].
	Estrategias de mejora de proyectos	<i>ICAD2.</i> Considera la mejora de la calidad como una forma de aumentar el éxito [124]. <i>ICAD3.</i> Fomenta la participación de los empleados en la implementación de proyectos LM [135].
	Comunicación	<i>ICAD4.</i> La alta dirección tiene una comunicación escrita regular sobre las noticias de LM y los éxitos de los proyectos [135].
	Disponibilidad de recursos financieros	<i>ICAD5.</i> Dispone recursos para la formación de los empleados de la empresa [19].
Liderazgo de Proyectos (LP)	Fomenta la participación	<i>LP1.</i> Fomenta encarecidamente la participación de los empleados en los proyectos LM [136].
	Identifica necesidades de formación	<i>LP2.</i> Ayuda al grupo de trabajo a ver las áreas en las que se necesita más formación [136]. <i>LP3.</i> Explica reglas y expectativas al grupo de trabajo [136].
	Busca el bienestar de los miembros del grupo	<i>LP4.</i> Muestra preocupación por el bienestar de los miembros del grupo de trabajo [136]. <i>LP5.</i> Se toma el tiempo para discutir pacientemente las preocupaciones de los miembros del grupo de trabajo [136].
	Programa formal de entrenamiento	<i>EE1.</i> Se establecen programas formales de capacitación y entrenamiento [137].
	Desarrollo de liderazgo	<i>EE2.</i> Se brinda capacitación en habilidades interactivas (como habilidades de comunicación, habilidades para reuniones efectivas y habilidades de liderazgo) [124], [19]. <i>EE3.</i> En la empresa se tiene un alto nivel de habilidad en comparación con otras empresas del mismo sector [138].
Educación y Entrenamiento (EE)	Entrenamiento técnico	<i>EE4.</i> La organización proporciona una formación técnica adecuada a mi equipo [138].
	Entrenamiento continuo	<i>EE5.</i> La formación está disponible para los miembros del cuando se necesita [138].
	Objetivos comunes	<i>EC1.</i> Involucramiento de los clientes en los proyectos [139]. <i>EC2.</i> Grado en el que los clientes participan activamente en el nuevo producto [7]. <i>EC3.</i> Grado en el que los clientes comparten información sobre la demanda actual con el departamento de marketing [7]
	Satisfacción del cliente	<i>EC4.</i> Se seleccionan proyectos que repercutan favorablemente en la satisfacción del cliente [139].
	Requerimientos del cliente	<i>EC5.</i> Se evalúan y predicen los requisitos del cliente con regularidad [134].
Enfoque al Cliente (EC)	Participación de proveedores en proyectos	<i>VLP1.</i> Los proveedores participan en proyectos LM [135]. <i>VLP2.</i> Los proveedores participan activamente en los proyectos de mejora y la organización brinda apoyo y supervisa las actividades de mejora del proveedor [134]. <i>VLP3.</i> Grado en que los problemas se resuelven conjuntamente los proveedores [7].
	Relación con proveedores	<i>VLP4.</i> Se establece una relación a largo plazo y una asociación de trabajo con el proveedor clave [140].
	Selección de proveedores	<i>VLP5.</i> Grado en que la calidad se considera el criterio principal en la selección de proveedores [7].
	Mejora de la calidad	<i>B1.</i> Reducción de costos de mala calidad [19].
	Reducción de tiempo	<i>B2.</i> Mejora en la satisfacción del cliente [19].
Vinculación Lean con los Proveedores (VLP)	Reducción de retrabajos	<i>B3.</i> Calidad mejorada y menos retrabajo [19].
	Ventaja competitiva	<i>B4.</i> Rendimiento en la entrega [141].
	Reducción de desperdicios	<i>B5.</i> Reducción de la cantidad de residuos [141].
	Reducción de tiempo	<i>B6.</i> Ventaja competitiva mejorada [19].
	Beneficios (B)	

Como ejemplo del proceso de operacionalización de las variables, en la Tabla 4 se presenta el constructo Liderazgo de Proyectos (PL), definido por tres indicadores: *fomenta la participación, identifica necesidades de formación, busca el bienestar de los integrantes del grupo*. Asimismo, se proporcionan los ítems, con sus respectivas referencias, que corresponden a cada indicador, quedando de la siguiente manera: *fomenta la participación*, se mide a través del ítem LP1; *identifica necesidades de formación* por los ítems LP2 y LP3; mientras que los ítems LP4 y LP5 corresponden al indicador *busca el bienestar de los miembros del grupo*. La operacionalización de las seis variables latentes y, en consecuencia, la encuesta completa, está disponible en la Tabla 4.

El instrumento de medición desarrollado en este estudio utiliza la escala Likert de cinco puntos, que representa un rango de percepción desde nunca (1) a siempre (5). El uso de la escala Likert de cinco puntos en este tipo de estudio de gestión de operaciones es una opción popular para medir variables latentes a través de un conjunto de elementos relacionados [116], [117].

4.1.2 Validez de contenido

La encuesta fue revisada por seis expertos de LM, tanto en el campo académico como en el industrial, para verificar la validez del contenido. Se evaluó la relevancia y claridad de las preguntas, el significado claro de la jerga comúnmente utilizada en la industria y el tiempo requerido para completar la encuesta completa. Luego, basándose en los comentarios de los seis expertos, se modificó el instrumento. Su estructura final constaba de cinco secciones: la primera sección ofrece una breve introducción a los objetivos de la encuesta, mientras que la segunda recoge información sobre los datos demográficos de las empresas. La sección tres evalúa el uso de FCE en proyectos LM y la sección cuatro contiene un análisis de las herramientas LM. El último apartado tiene como objetivo conocer los beneficios para las empresas que implementan proyectos de mejora utilizando LM.

4.2 Administración del instrumento

Este estudio está enfocado en las empresas grandes de manufacturera (con más de 250 trabajadores) dentro del subsector de fabricación de equipo de transporte en México, las cuales fueron identificadas utilizando la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y representan el 23% del total de las grandes empresas del sector manufacturero Mexicano [29]. La encuesta fue dirigida para las personas que se encuentran en los mandos medios a superiores desde

supervisores, líderes de proyectos, ingenieros, gerentes, directores generales, con experiencias en la implementación de proyectos LM. Se enviaron 1580 encuestas, por diversos medios como la plataforma SurveyGizmo, correo electrónico, visitas personales y la red LinkedIn. La tasa de respuesta fue del 17%, con 270 encuestas completadas de 102 empresas diferentes. Los datos demográficos de las respuestas fueron los siguientes: El puesto que reportó la mayor participación fue el de Ingeniero de Producto y Procesos, que comprende el 20%; y hubo mayor participación masculina (85%); por otro lado, el 71% de los encuestados tenía menos de 5 años de experiencia en el sector estudiado; y el subsector con mayor participación fue la fabricación de equipos aeroespaciales (39%). Las características de la muestra se pueden ver en la Tabla 5.

Tabla 5. Características de la muestra

Características	Frecuencia	Porcentaje
Género		
Femenino	40	15
Masculino	230	85
Subsector de manufactura		
Equipo aeroespacial	105	39
Carros y camiones	43	16
Otras partes para vehículos de motor	35	13
Equipos eléctricos y electrónicos para vehículos automotores	33	12
Asientos y accesorios interiores para vehículos automotores	19	7
Camiones y tractores	14	5
Motores de gasolina y sus partes para vehículos automotores	8	3
Sistemas de transmisión para vehículos de motor	5	2
Carrocerías y remolques	5	2
Otros	3	1
Experiencia		
Menos de 2 años	95	35
De 2 a 5 años	97	36
De 5 a 10 años	46	17
Más de 10 años	32	12
Puesto		
Ingeniero de producto y proceso	54	20
Ingenieros de diseño / desarrollo de producto	49	18
Liderazgo de proyectos	32	12
Supervisor	32	12
Ingeniero de mejora continua	24	9
Gerente de Operaciones	16	6
Ingeniero de calidad	14	5
Gerente de la planta	14	5
Otros	35	13

4.3 Análisis estadístico para la validación del instrumento

La validación del cuestionario implica dos pruebas: fiabilidad y validez. Se utilizó el análisis factorial para medir la fiabilidad y validez de las variables observables indirectamente [95]. En primer lugar, se verificaron cuatro aspectos importantes a considerar en la validación de encuestas [93], [88]: datos faltantes, valores atípicos, supuestos de normalidad univariante y multivariante y multicolinealidad. Para evitar la pérdida de datos, solo se registraron encuestas completas en el programa utilizado para administrar la encuesta. Luego, se verificó la base de datos para identificar valores atípicos, observaciones con una combinación única de características identificables que difieren claramente de las otras observaciones [88]. Esto se logró utilizando la distancia de Mahalanobis. Se eliminaron un total de 30 encuestas identificadas como valores atípicos por no alcanzar un nivel conservador de significación estadística, según lo recomendado por Kline, $p < 0,001$ [98]. Por lo tanto, los siguientes cálculos para la validación de la encuesta se realizaron considerando sólo 240 respuestas. Lo anterior fue necesario para mejorar la normalidad de la base de datos ya que, cumpliendo con este supuesto, se puede utilizar el método de máxima verosimilitud para extraer el factor [94] tal como se hizo en este trabajo de investigación.

Como una condición necesaria, aunque no suficiente, para la normalidad multivariada se requiere verificar la normalidad univariada [99]. Para medir la normalidad de los datos en las variables, DeCarlo [99] sugiere confiar en la asimetría y la curtosis, por lo que se utilizó el índice de curtosis estandarizado para medir la normalidad univariada de cada una de las variables que componen el instrumento, dando como resultado valores absolutos por debajo de 3, como se muestra en la Tabla 6, demostrando que los resultados tienen normalidad univariada, tal como lo sugiere DeCarlo [99], al afirmar que el que el valor del índice de curtosis estandarizado en una distribución normal debería ser igual o menor a 3.

A continuación, se evaluó la normalidad multivariante mediante la prueba de Mardia, que se basa en el valor normalizado de la curtosis multivariante [100]. El procedimiento consiste en comparar el coeficiente de Mardia del dato en estudio con un valor calculado obtenido de la fórmula $p(p+2)$, donde p es el número de variables observadas en el modelo [95]. Este supuesto se verificó contrastando el valor de la curtosis multivariable obtenido a través del programa SPSS Amos con el valor calculado a través de la fórmula propuesta. Considerando las 31 variables contenidas en la encuesta, el cálculo arrojó un valor de 1023; es decir, un valor mayor que el índice de curtosis multivariado obtenido mediante SPSS Amos. Al cumplir la

condición de que el valor calculado sea mayor que el valor obtenido de 184.347, también se cumplió el supuesto de normalidad multivariante en el conjunto de datos [97].

Tabla 6. Resultados de las pruebas de validez de constructo

Constructo / Variable	Asimetría	Curtosis	VIF	Carga factorial	Valores propios	Confiabilidad compuesta (CR)	Alfa de Cronbach
ICAD							
ICAD1	-0.982	0.399	3.707	0.860			
ICAD2	-1.682	2.986	2.003	0.682			
ICAD3	-1.298	1.291	3.158	0.806	1.941	0.833	0.890
ICAD4	-0.857	0.184	2.935	0.795			
ICAD5	-0.798	-0.108	3.176	0.806			
LP							
LP1	-0.853	0.031	3.193	0.805			
LP2	-0.747	-0.102	3.168	0.811			
LP3	-0.881	0.591	4.368	0.882	14.097	0.832	0.929
LP4	-0.820	0.128	4.705	0.895			
LP5	-0.621	-0.277	3.874	0.864			
EE							
EE1	-0.865	0.312	3.031	0.802			
EE2	-0.706	-0.229	5.022	0.834			
EE3	-0.792	0.292	2.738	0.810	1.049	0.832	0.900
EE4	-0.757	-0.020	3.602	0.867			
EE5	-0.349	-0.259	2.955	0.637			
EC							
EC1	-0.073	-1.053	2.161	0.666			
EC2	-0.624	-0.322	2.462	0.750			
EC3	-0.580	-0.509	2.368	0.691	1.165	0.833	0.850
EC4	-0.936	0.958	2.779	0.770			
EC5	-0.784	-0.010	2.639	0.814			
VLP							
VLP1	-0.240	-0.788	3.779	0.790			
VLP2	-0.494	-0.483	3.500	0.785			
VLP3	-0.499	-0.453	3.812	0.874	1.421	0.832	0.909
VLP4	-0.610	-0.375	2.995	0.809			
VLP5	-0.627	-0.410	2.733	0.784			
B							
B1	-1.305	2.097	2.028	0.680			
B2	-1.201	1.385	2.601	0.790			
B3	-1.176	1.353	3.021	0.860	2.556	0.857	0.886
B4	-0.962	0.825	2.782	0.709			
B5	-1.182	1.606	2.673	0.704			
B6	-1.002	0.590	2.225	0.745			

Finalmente, el estudio verificó la presencia de multicolinealidad en los datos para eliminar la posibilidad de que dos o más variables estuvieran altamente correlacionadas y, por lo tanto, midieran el mismo constructo [97]. Para ello se utilizaron dos pruebas: la primera calculó las correlaciones bivariadas ya que según Kline [98], cualquier par de variables con una correlación superior a 0.85 deben interpretarse como evidencia de posibles problemas; eso, sin embargo, no ocurrió en este análisis, donde la correlación bivariada más alta fue 0.79. La segunda prueba

analizó los factores de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés), que verifican si la variable podría ser redundante al tener valores superiores a 10 [98]. En el estudio, los resultados del VIF indicaron un valor máximo de 5.022 (ver Tabla 6). Por lo tanto, con base en las dos pruebas realizadas, es posible concluir que este conjunto de datos no presenta problemas de multicolinealidad.

4.3.1 Análisis Factorial

El análisis factorial exploratorio (AFE) de la matriz de correlación estableció las dimensiones latentes, y los resultados se utilizaron como indicador de la validez de cada constructo estudiado. Según [108], la validez de un instrumento es el grado en que un instrumento mide verdaderamente lo que pretende medir. En el análisis factorial, se utilizó la estimación de máxima verosimilitud para extraer el factor y la rotación varimax. La rotación de factores es fundamental en la AFE, de hecho, es considerado por muchos como la herramienta más importante en la interpretación del AFE [93]. En este estudio, se realizó una rotación varimax ya que, aparte de los supuestos de distribución, es menos probable que produzca soluciones inadecuadas o factores que no estén correlacionados [142].

El primer paso para realizar un AFE consiste en calcular el índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), el cual proporciona una medida para determinar si las correlaciones parciales entre las variables son pequeños, dando como resultado una adecuación de muestreo de 0.938, superior a 0.9, lo que indica que los datos actuales son adecuados para el análisis de componentes principales [143]. Del mismo modo, la prueba de esfericidad de Bartlett es significativa ($p < 0.001$), mostrando una correlación suficiente entre los elementos para proceder con el análisis. El siguiente paso importante de un EFA es la eliminación de cargas factoriales no significativas, en este sentido Hatcher [144] menciona que como mínimo, 0.4 cargas de cada elemento en su factor respectivo se consideran adecuadas para ese factor. Mediante el AFE se identificaron 6 factores compuestos por un total de 31 variables con cargas significativas, que explican el 71.707% de la varianza total de los datos, cabe mencionar que los valores propios de todos los factores fueron mayores a 1. La Tabla 7 muestra la estructura factorial resultante para los 31 ítems de la muestra total.

Tabla 7. Estructura factorial de los 31 ítems

Ítems	Factores					
	1	2	3	4	5	6
LP1	0.692					
LP2	0.675					
LP3	0.755					
LP4	0.771					
LP5	0.772					
B1		0.554				
B2		0.711				
B3		0.763				
B4		0.687				
B5		0.707				
B6		0.603				
ICAD1			0.727			
ICAD2			0.551			
ICAD3			0.730			
ICAD4			0.565			
ICAD5			0.623			
VLP1				0.802		
VLP2				0.787		
VLP3				0.721		
VLP4				0.601		
VLP5				0.538		
EC1					0.555	
EC2					0.706	
EC3					0.706	
EC4					0.475	
EC5					0.641	
EE1						0.441
EE2						0.748
EE3						0.439
EE4						0.496
EE5						0.692
% Varianza explicada	45.474	8.244	6.260	4.585	3.758	3.384
Varianza acumulada	45.474	53.719	59.979	64.565	68.323	71.707

Se utilizaron dos criterios para probar la adecuación del tamaño de la muestra: el primero es el Critical N de Hoelter [145], que indicó que 167 encuestas tenían un tamaño de muestra suficiente para $\alpha = 0.01$; el segundo criterio fue el sugerido por Hair et al. [88] en el que el valor apropiado de un factor de carga está de acuerdo con el tamaño de la muestra; el presente trabajo se basa en 240 encuestas válidas, por lo que los valores de carga superiores a 0.40 se consideran significativos ($\alpha = 0.05$) [88].

Posterior al AFE se realizó un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC), utilizando SPSS Amos, versión 23. De nuevo se probó la normalidad univariada y multivariada, se buscaron valores atípicos y multicolinealidad de los datos. Se descartó cualquier

problema en cuanto a los dos primeros supuestos, se conservó el tamaño de muestra, de 240 encuestas, para las pruebas posteriores.

La validez de un modelo de medición depende de establecer niveles aceptables de bondad de ajuste y encontrar evidencia específica de validez de constructo. Según Kline [98], al menos los siguientes índices de ajuste en el modelo deben estimarse al validar un modelo de medición: el estadístico χ^2/gl , el error cuadrático medio de aproximación (RMSEA), la raíz media normalizada residual (SRMR) y el índice de ajuste comparativo (CFI); y se debe informar al menos un índice incremental y un índice absoluto. Además, se recomienda agregar el índice de ajuste de parsimonia normado (PNFI) para comparar modelos de diferente complejidad.

Los resultados del análisis factorial confirmatorio (AFC) indican un ajuste excelente, siendo χ^2/gl inferior a 2.0. Además, los valores de CFI y TLI son superiores a 0.9, el valor de RMSEA es inferior a 0.08 y el valor de SRMR cae por debajo de 0.05. Estos índices de bondad de ajuste confirman la validez del modelo de medición. Finalmente, un valor PNFI de 0.788 muestra un nivel aceptable de complejidad (ver Tabla 8), y el valor R^2 para cada indicador se encuentra entre 0.52 y 0.90. Los resultados sugieren que estos seis constructos se pueden utilizar para medir la implementación de LM en proyectos de mejora de la industria mexicana de fabricación de equipo de transporte. Estas construcciones se muestran gráficamente en el modelo de medición propuesto (Figura 10).

Tabla 8. Estimación de los índices de ajuste para el modelo de medición

Estadísticos de Bondad de ajuste	Valor obtenido	Valores recomendados para un ajuste satisfactorio del modelo	Referencias
χ^2/df	1.682	3, 2 o menos	[86]
TLI	0.941	Más grande que 0.9	[75], [39]
CFI	0.948	Más grande que 0.9	[75], [39]
RMSEA	0.053	Menor que 0.08	[75], [87]
SRMR	0.047	Menor que 0.05	[88]
PNFI	0.788	De 0.5 a 1	[89]

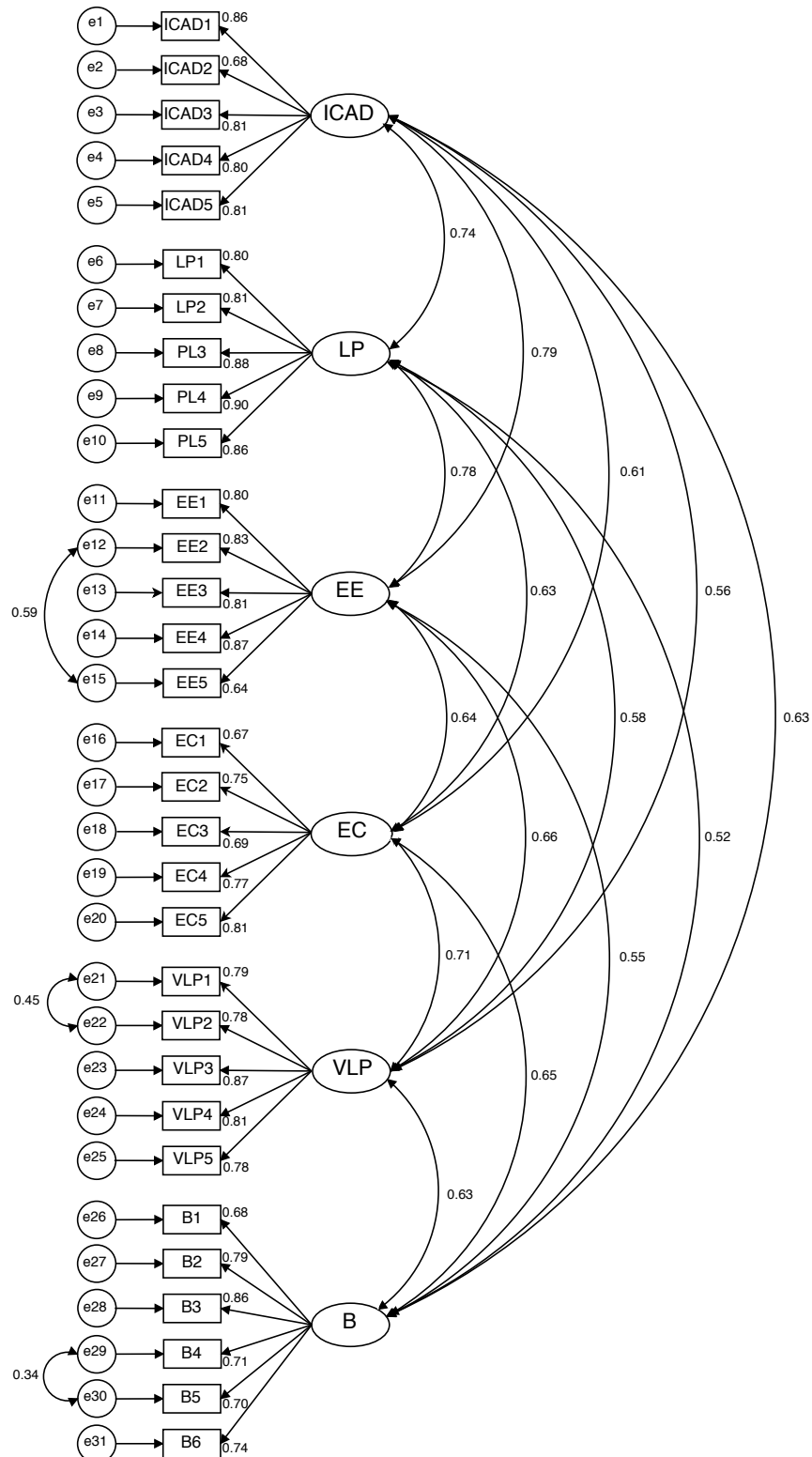


Figura 10. Modelo de medición propuesto de los FCE de LM para el subsector fabricación de equipo de transporte en México.

La validez de constructo se midió a través de los resultados del análisis factorial. A continuación, se presenta la evaluación convergente, discriminante y nomológica tal como lo recomienda Hair [88].

4.3.2 Validez Convergente

La validez convergente se mide a través del índice de varianza media extraída (AVE, por sus siglas en inglés), en el que cualquier valor de AVE superior a 0.5 indica una buena validez convergente, confirmando que un conjunto de elementos son indicadores de una construcción específica [88], al compartir una alta proporción de varianza en común. Los valores de AVE de los constructos o variables latentes del presente estudio, se presentan en la diagonal principal de la matriz concentrada en la Tabla 9, siendo todos mayores a 0.5.

Tabla 9. Correlaciones entre constructos, varianza media extraída y correlaciones al cuadrado

	ICAD	LP	EE	EC	VLP	B
ICAD	0.628	0.545	0.626	0.372	0.319	0.397
LP	0.738	0.726	0.615	0.393	0.335	0.266
EE	0.791	0.784	0.630	0.412	0.440	0.305
EC	0.610	0.627	0.642	0.548	0.501	0.426
VLP	0.565	0.579	0.663	0.708	0.654	0.392
B	0.630	0.516	0.552	0.653	0.626	0.563

Nota: Los valores debajo de la diagonal principal representan las correlaciones entre constructos, significativas al nivel 0.001. Los valores de la diagonal principal corresponden a la Varianza Media Extraída (AVE) de los constructos. Los valores por encima de la diagonal principal son las correlaciones al cuadrado.

Asimismo, se verificó la consistencia interna del instrumento mediante el alfa de Cronbach y el coeficiente de Confiabilidad Compuesto (RC), este último con la característica de no depender del número de ítems de la variable latente [142]. En ambos criterios la regla de aceptación mínima, según Nunally [85], es una fiabilidad de 0.7 en las primeras etapas de la investigación y de un estricto 0.8 en la investigación básica. Se encontró que el instrumento desarrollado por este estudio muestra suficiente validez convergente en todas las variables latentes ya que presenta valores de Alfa de Cronbach iguales o mayores a 0.850 y valores de RC mayores a 0.832 (Tabla 6).

4.3.3 Validez Discriminante

La validez discriminante comprueba la medida en que un constructo es realmente diferente de los demás. Una forma de estimar este indicador es mediante la

comparación de los valores del AVE para una de las dos construcciones con la correlación al cuadrado. Entonces, el AVE debe ser mayor que la correlación al cuadrado para confirmar que las dos construcciones son independientes entre sí. En la Tabla 9 se muestra que las construcciones tienen un valor AVE mayor que el cuadrado de todas sus correlaciones. Por lo tanto, la validez discriminante muestra evidencia de que cada construcción del instrumento es única y puede usarse para analizar parte del fenómeno

4.3.4 Validez Nomológica

Por último, se evaluó la validez nomológica y se pudo constatar que las correlaciones entre constructos, dentro de una teoría de medición, tenían sentido ya que eran positivas y significativas. Esto tiene sentido ya que se definieron los constructos para lograr una implementación exitosa de proyectos de mejora bajo la metodología LM. La matriz de la Tabla 9 muestra cómo se relacionan los constructos entre sí.

De acuerdo al AFE, AFC y los índices de bondad de ajuste del modelo, se confirma que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos y que los elementos medidos realmente reflejan las variables latentes teóricas que están destinadas a medir.

4.4 Evaluación del nivel de implementación de los FCE en los Proyectos LM

Durante la etapa de validación del instrumento, fue posible realizar un análisis de las respuestas obtenidas, lo que permitió contar con una evaluación del nivel de implementación percibido de los FCEs, al realizar proyectos de mejora LM en el sector de estudio. En la Tabla 10 se muestra la media general de cada factor, utilizada para investigar el nivel de implementación de los FCEs percibido por los encuestados. Los valores medios oscilan entre 3.774 y 4.243 con una desviación estándar (DS) promedio de 0.807, lo cual muestra un buen nivel de implementación en la práctica de LM. La información mostró que los FCEs: Beneficios (B) y el *Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD)*, con valores de 4.243 (± 0.861) y 4.240 (± 0.884) respectivamente, son los que se perciben como los de mayor importancia al realizar los Proyectos LM, esto coincide con lo reportado por Alhuraish et al. [146] y Chong et al. [147]. Por su parte, el tercer sitio lo ocupa el factor *Liderazgo de proyectos (LP)*, con un valor medio de 4.080 y desviación estándar de 0.925, seguido de los factores *Educación y Entrenamiento (EE)* (3.920 ± 0.916) y *Enfoque al cliente (EC)* (3.868 ± 0.995); finalmente, los encuestados percibieron que el FCE *Vinculación Lean con proveedores (VLP)* tiene un menor nivel de implementación con valores que van de

4.816 a 2.71, con una evaluación promedio de 3.774. Cabe señalar que los seis factores son considerados por los encuestados como “siempre” y “casi siempre”, están presentes al implementar este tipo de proyecto de mejora.

Tabla 10. Evaluación del nivel de implementación percibida de los FCEs en los Proyectos LM

Constructo	Variable	Media	DS	Media promedio	DS promedio	Clasificación
Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD)	ICAD1	4.17	0.924	4.240	0.884	2
	ICAD2	4.54	0.725			
	ICAD3	4.37	0.857			
	ICAD4	4.03	0.985			
	ICAD5	4.09	0.931			
Liderazgo de Proyectos (LP)	LP1	4.15	0.904	4.082	0.925	3
	LP2	4.15	0.874			
	LP3	4.08	0.900			
	LP4	4.10	0.944			
	LP5	3.93	1.003			
Educación y Entrenamiento (EE)	EE1	4.09	0.933	3.920	0.916	4
	EE2	4.03	0.959			
	EE3	4.12	0.874			
	EE4	4.11	0.885			
	EE5	3.25	0.930			
Enfoque al Cliente (EC)	EC1	3.30	1.231	3.868	0.995	5
	EC2	3.90	0.995			
	EC3	3.86	1.028			
	EC4	4.18	0.823			
	EC5	4.10	0.900			
Vinculación Lean con Proveedores (VLP)	VLP1	3.50	1.120	3.774	1.043	6
	VLP2	3.55	1.149			
	VLP3	3.85	1.012			
	VLP4	3.98	0.961			
	VLP5	3.99	0.974			
Beneficios (B)	B1	4.21	0.883	4.243	0.861	1
	B2	4.33	0.825			
	B3	4.27	0.842			
	B4	4.23	0.833			
	B5	4.30	0.805			
	B6	4.12	0.976			

4.4.1 Discusión de la evaluación

Los encuestados percibieron la participación y el compromiso de la alta dirección como uno de los elementos más importantes a la hora de llevar a cabo proyectos de LM. Cualquier iniciativa exitosa como LM requiere la participación de la alta dirección, así como el despliegue de los recursos y la formación adecuados [122]. El compromiso de la alta dirección con la comprensión, la implementación y las metas dentro de la organización tiene la mayor influencia en el desempeño y el éxito de cualquier

proyecto de mejora de LM. Sin el apoyo y el compromiso continuo de la alta dirección, la verdadera importancia de la iniciativa parecerá cuestionable y el impulso que la respalda se debilitará [123], [10].

El liderazgo de proyectos se considera un FCE muy importante al implementar proyectos LM, ya que aborda el papel crítico de fomentar la mejora de la calidad y el compromiso de los empleados, comunicarse de manera efectiva, participar en la selección y evaluación de proyectos y garantizar el logro de las metas y objetivos del proyecto por una fecha de vencimiento. Por tanto, autores como de Kuei y Madu [148] creen que el liderazgo es clave para el éxito de cualquier proyecto de mejora. Sin un liderazgo adecuado, no hay razón para implementar el proyecto. Esta última afirmación es apoyada por Eckes [149], quien afirma que los proyectos de mejora como LM fracasan debido a la debilidad del liderazgo en las habilidades de gestión de proyectos.

Como se mencionó anteriormente, una iniciativa exitosa como LM requiere una capacitación adecuada, ya que un programa de capacitación integral en LM proporciona las herramientas, el conocimiento y la metodología necesarios para un enfoque sistémico para la resolución de problemas [124]. Un buen programa de capacitación debe estar bien definido y tener la duración adecuada para equipar a los empleados con los conocimientos relacionados con la calidad y las habilidades de resolución de problemas necesarios para desarrollar un proyecto de mejora de LM exitoso. Así lo apoya Jafari [67], quien también cree que la formación continua debe aplicarse a través de seminarios, cursos de formación y conferencias, sin olvidar el papel de la educación en la formación. La opinión de Netland [8] respalda lo anterior, ya que sostiene que sin la formación y la educación adecuadas, es poco probable que una planta tenga éxito en la ejecución eficiente de proyectos de mejora como LM.

Según la percepción de los encuestados, el siguiente FCE más importante para la implementación exitosa de LM es el enfoque en el cliente. De hecho, la EC se considera la parte más importante del proceso de mejora continua. En consecuencia, centrarse en las necesidades y la satisfacción del cliente debería ser la práctica más importante para implementar iniciativas de calidad [125], [126], [127]. Por tanto, las organizaciones deben conocer las opiniones de los clientes y ser responsables de atenderlas [67], [128], satisfacer sus necesidades y expectativas [129] y predecir sus demandas [7]. La necesidad de consultar a los clientes se ha vuelto cada vez más importante cuando se intenta implementar con éxito un proyecto [99]. De hecho, Manley [150] descubrió que el grado en el que los clientes se involucran personalmente en el proceso de implementación afectará la variación en su apoyo a ese proyecto.

Por otro lado, el FCE Vinculación Lean con los proveedores presentó el nivel más bajo de implementación según la percepción de los encuestados. Esto concuerda con Antony y Desai [135], quienes también encontraron que los encuestados prestaron menos atención al factor Vinculación de la Lean con los Proveedores. La razón es que se produce una relación de colaboración con los proveedores cuando la alta dirección prioriza la calidad del producto y el rendimiento del tiempo de entrega sobre el precio en la selección de proveedores, el reconocimiento del sistema de gestión de la calidad y la medición de la preparación de herramientas para evaluar la calidad de los proveedores de la empresa [39]. Por lo tanto, es fundamental contar con un mecanismo que asegure que solo se reciba buena calidad de los proveedores. Especialmente durante la etapa inicial, el liderazgo juega un papel clave para garantizar la participación de los proveedores en el desarrollo de productos y proyecto de mejora de LM.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El objetivo del estudio fue desarrollar una encuesta estadísticamente válida para evaluar los CSF que influyen en la implementación de proyectos de mejora que siguen la metodología *Lean Manufacturing* en la industria manufacturera fabricación de equipos de transporte en México. Además, la administración de esta encuesta puede ayudar a identificar áreas de mejora a la hora de realizar proyectos LM. Los datos para el estudio se obtuvieron de una muestra de 240 encuestados y el modelo de medición se probó utilizando SEM. Con base en el AFE y el AFC se confirmó que todos los constructos son válidos y confiables para la investigación. En cuanto al nivel de implementación de FCE, percibido por los encuestados al realizar el proyecto de mejora de LM, se encontró que los seis factores son considerados por los encuestados como “siempre” y “casi siempre”; es decir, como presente en la implementación de este tipo de proyectos de mejora, lo que puede considerarse un avance positivo en la implementación de proyectos LM. Los FCEs con el nivel más alto de implementación son Beneficios y Participación y Compromiso de la Alta Dirección. Por tanto, se puede concluir que al realizar un proyecto de LM se pueden esperar mayores beneficios si existe un mayor nivel de compromiso de la alta dirección.

5.1.1 Conclusiones de acuerdo a las hipótesis de investigación

Se acepta la hipótesis 1: El involucramiento y compromiso de la alta dirección, el liderazgo del proyecto, la educación y el entrenamiento, el enfoque al cliente, la vinculación Lean con proveedores y los beneficios son los FCEs a considerar para el desarrollo de un instrumento de recolección de datos, que permita obtener información confiable para incrementar la posibilidad de éxito en los proyectos de mejora LM, en el subsector de fabricación de equipo de transporte.

El AFE, AFC y los índices de bondad de ajuste, confirmaron que el modelo de medición tiene un buen ajuste con respecto a los datos y que los elementos medidos realmente reflejan a las seis variables latentes. Mediante la aplicación de este instrumento se podrá contar con información confiable que permita identificar las áreas de oportunidad, buscando incrementar la probabilidad de éxito de los proyectos LM en el sector de estudio.

Se acepta la hipótesis 2: La percepción de los encuestados sobre los seis FCEs es que casi siempre están presentes al desarrollar proyectos bajo la metodología *Lean Manufacturing*, en el subsector fabricación de equipo de transporte.

Los valores medios en la evaluación de la presencia de los FCE en el desarrollo de proyectos LM, confirma que los encuestados perciben a los seis factores como “siempre” y “casi siempre”, están presentes al implementar este tipo de proyecto de mejora.

5.1.2 Cumplimiento de los objetivos de investigación

Objetivo específico 1: Determinar los principales factores críticos de éxito en el desarrollo de proyectos de mejora LM, mediante una de literatura a nivel mundial.

Se cumplió con el objetivo específico 1. En la extensiva revisión de literatura, realizada sobre los FCEs de la implementación de metodología LM (165 artículos), se encontraron 21 FCEs distintos y, se seleccionaron los factores: Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección (ICAD), Liderazgo de Proyectos (LP), Educación y Entrenamiento (EE), Enfoque al cliente (EC), Vinculación Lean con los Proveedores (VLP) y Beneficios (B), ya que conforman un poco más del 65% de las menciones reportadas en la literatura. Los seis FCE representan las variables latentes estudiadas a través de la encuesta.

Objetivo específico 2: Determinar la validez de los constructos en el estudio mediante cargas factoriales, la varianza extraída y los análisis de confiabilidad.

El análisis factorial exploratorio (AFE) de la matriz de correlación estableció las dimensiones latentes del instrumento. Su validez, se comprobó mediante la validez convergente, discriminante y nomológica, así como mediante el análisis de confiabilidad.

La validez convergente se midió a través del índice de varianza media extraída (AVE), los valores de AVE superior a 0.5, indican una buena validez convergente, confirmando que un conjunto de elementos son indicadores de una construcción específica. Los valores de AVE son mayores a las correlaciones al cuadrado de cada par de variables, por lo que se puede afirmar que cada constructo es único y puede usarse para medir parte del fenómeno. La validez nomológica se puede constatar por medio de las correlaciones entre constructos, al ser positivas y significativas. Asimismo, se encontró que el instrumento desarrollado es confiable en todas sus variables latentes, al presentar valores de Alfa de Cronbach iguales o mayores a 0.850 y valores de RC mayores a 0.832.

Por lo anteriormente mencionado se concluye que se cumplió con el objetivo específico 3.

Objetivo específico 3: Evaluar el ajuste global del modelo de medición mediante índices de bondad del ajuste del modelo.

Se cumplió con el Objetivo específico 4. Los resultados del análisis factorial confirmatorio (AFC) indican un ajuste excelente, siendo χ^2/gl inferior a 2.0. Los valores de CFI y TLI son superiores a 0.9, el valor de RMSEA es inferior a 0.08 y el valor de SRMR cae por debajo de 0.05. El valor PNFI de 0.788 muestra un nivel aceptable de complejidad. Los resultados sugieren que estos seis constructos se pueden utilizar para medir la implementación de LM en proyectos de mejora de la industria mexicana de fabricación de equipo de transporte.

Objetivo específico 4: Determinar las variables latentes que afectan la implementación de proyectos de mejora LM en las industrias de manufactura del subsector fabricación de equipo de transporte.

De acuerdo al AFE, AFC y los índices de bondad de ajuste, se confirma que el modelo tiene un buen ajuste con respecto a los datos y que los elementos medidos realmente reflejan a las seis variables latentes teóricas que buscan medir el nivel de implementación de los FCEs de los proyectos de mejora LM en las industrias de manufactura del subsector fabricación de equipo de transporte. Por lo anterior, se concluye que se cumplió con el objetivo específico 4.

Objetivo específico 5: Medir el nivel de implementación percibido por los encuestados al desarrollar proyectos de mejora LM en el subsector de estudio.

La encuesta desarrollada y validada permitió evaluar el nivel de implementación de los FCE percibido por los encuestados, cumpliendo así con el objetivo específico 5. Los resultados arrojaron que los seis FCEs son considerados como que “siempre” y “casi siempre”, están presentes al implementar este tipo de proyecto de mejora, en el subsector de fabricación de equipo de transporte de la industria manufacturera mexicana.

5.2 Recomendaciones

Es necesario incrementar la participación de las empresas manufactureras del subsector de estudio, en responder el cuestionario, por lo que es indispensable planear una estrategia de acercamiento y compromiso para asegurar la participación y con ello fortalecer los resultados, a través del contacto telefónico, correo electrónico, visita in situ.

En la medida de las posibilidades se sugiere para la modelación de las ecuaciones estructurales, utilizar diversos softwares, como AMOS, LISREL, EQS, MPlus y SmartPLS entre otros, con la finalidad de experimentar distintos escenarios particulares de cada software y comparar los resultados.

5.3 Trabajo a futuro

La encuesta desarrollada en este estudio puede ser utilizada en industrias manufactureras con características similares a este subsector; por lo que se buscará posteriormente aplicar y validar el instrumento en otros sectores manufactureros de la nación para apoyar, a través de proyectos de mejora de LM, la mejora de la competitividad de su segunda actividad industrial más importante.

Como nuevas oportunidades de investigación, se buscará estudiar las relaciones directas e indirectas de los FCEs por medio del modelado de ecuaciones estructurales entre los proyectos LM y los beneficios que se obtienen de su desarrollo, en el subsector de fabricación de equipos de transporte. Y también replicar el modelo en otros subsectores de gran importancia a la economía mexicana del país.

6 REFERENCIAS

- [1] A. B. a. C. Gauvreau, «Factors influencing project success: The impact of human resource management,» *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 22, n° 1, pp. 1-11, 2014.
- [2] W. Belassi y O. Tukel, «A new framework for determining critical success/failure factors in projects,» *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 14, n° 3, pp. 141-151, 1996.
- [3] T. Cooke-Davies, «The "real" success factors on projects,» *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 20, n° 3, pp. 185-190, 2020.
- [4] E. Ngai, C. Law y F. Wat, «Examining the critical success factors in the adoption of enterprise resource planning,» *Comput. Ind.*, vol. 59, n° 6, pp. 548-564, 2008.
- [5] R. Eid, «Factors affecting the success of world class manufacturing implementation in less developed countries: The case of Egypt,» *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 17, n° 4, pp. 989-2009, 2009.
- [6] P. Achanga, E. Shehab, R. Roy y G. Nelde, «Critical success factors for lean implementation within SMEs,» *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 17, n° 4, pp. 460-471, 2006.
- [7] N. Yusof y S. Habidin, «Critical success factors of lean six sigma for the malaysian automotive industry,» *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 4, n° 1, pp. 60-82, 2013.
- [8] T. Netland, «Critical success factors for implementing lean production: The effect of contingencies,» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 54, n° 8, pp. 2433-2448, 2016.
- [9] R. C. a. F. Antony, «Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations,» *TQM Mag.*, vol. 14, n° 2, pp. 92-22, 2002.
- [10] J. A. a. R. Banuelas, «Key ingredients for effective implementation of Six Sigma program,» *Meas. Bus. Excellence*, vol. 6, n° 4, pp. 20-27, 2002.
- [11] A. Brun, «Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies,» *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 13, n° 1, pp. 158-164, 2011.
- [12] Q. Zhang, I. Muhammad y A. Muhammad, «Critical Success Factors for Successful Lean Six Sigma Implementation in Pakistan,» *Interd. J. Contemp. Res. Bus.*, vol. 4, n° 1, pp. 117-124, 2012.
- [13] K. Kader Ali, C. Chong y K. Jayaraman, «factors of Lean Six Sigma practices on business performance in Malaysia,» *Int. J. Prod. Qual. Manag.*, vol. 17, n° 4, pp. 456-473, 2016.
- [14] I. Alhuraish, C. Robledo y K. Abdessamad, «The Key Success Factors for Lean Manufacturing versus Six Sigma,» *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, n° 2, pp. 169-182, 2016.
- [15] W. Glover, J. Farris, E. Van Aken y T. Doolen, «Critical success factors for the sustainability of Kaizen event human resource outcomes: An empirical study,» *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 132, n° 2, pp. 197-213, 2011.

- [16] J. García, A. Maldonado, A. Alvarado y D. Rivera, «Human critical success factors for kaizen and its impacts in industrial performance,» *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, vol. 70, n° 9, pp. 2187-2198, 2014.
- [17] T. S. a. M. Terziovski, «TQM in Australian manufacturing: Factors critical to success,» *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 17, n° 2, pp. 158-167, 2000.
- [18] J. Motwani, «Critical factors and performance measures of TQM,» *TQM Mag.*, vol. 13, n° 4, pp. 292-300, 2001.
- [19] J. Antony, K. Leung, G. Knowles y S. Gosh, «Critical success factors of TQM implementation in Hong Kong industries,» *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 19, n° 5, pp. 551-566, 2002.
- [20] S. Nitin, K. Dinesh y S. Paul, «TQM for manufacturing Excellence : Factors Critical To Success,» *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 5, n° 3, pp. 0976-4259, 2011.
- [21] C. Bamber, J. Sharp y M. Hides, «Factors affecting successful implementation of total productive maintenance: A UK manufacturing case study perspective,» *J. Qual. Mainten. Eng.*, vol. 5, n° 3, pp. 162-181, 1999.
- [22] S. V. a. D. Joy, «Structural Equation Modelling of lean manufacturing practices,» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, n° 6, pp. 1598-1607, 2012.
- [23] G. K. a. B. M. Manohar, «Critical success factors for implementing lean practices in IT support services,» *Int. J. Qual. Res.*, vol. 6, n° 4, pp. 301-312, 2012.
- [24] S. Hibadullah, «Critical success factors of lean manufacturing practices for the Malaysian automotive manufacturers,» *Int. J. Qual. Innov.*, vol. 2, n° 3-4, pp. 256-, 2014.
- [25] S. Z. a. A. Al-Ashaab, «Critical success factors for lean manufacturing: A systematic literature review an international comparison between developing and developed countries,» *Adv. Mat. Res.*, vol. 845, pp. 668-681, 2014.
- [26] D. Setijono, A. Laureani y J. Antony, «Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma: Results from an empirical study and agenda for future research,» *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 3, n° 4, pp. 274-283, 2012.
- [27] P. Reyes, «Manufactura Delgada (Lean) y Seis sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones,» *Contaduría y Administración*, vol. 205, pp. 51-69, 2002.
- [28] C.-C. C. a. W.-Y. Cheng, «Customer-focused and product-line-based manufacturing performance measurement,» *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, vol. 34, n° 11-12, pp. 1236-1245, 2006.
- [29] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>. [Último acceso: 11 Jun 2020].
- [30] N. A. I. C. System, «336 Transportation Equipment Manufacturing,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.census.gov/cgi-bin/sssd/naics/naicsrch?code=336&search=2007%20NAICS%20Search>. [Último acceso: 11 Jun 2020].

- [31] K. L. Bruno, «Identifying and Using Critical Success Factors,» *Long Range Plann.*, vol. 17, n° 1, pp. 23-32, 1984.
- [32] D. Näslund, «Lean and six sigma – critical success factors revisited,» *Int. J. Qual. Serv. Sci.*, vol. 5, n° 1, pp. 86-100, 2013.
- [33] R. D. S. a. R. Hoerl, *Six Sigma: A Step by Step Guide Based on Experience at GE and Other Six Sigma Companies*, New Jersey: Prentice-Hall, 2003.
- [34] T. A. B. a. P. D. M. Scherrer-Rathje, «Lean, take two! Reflections from the second attempt at lean implementation,» *Bus. Horiz.*, vol. 52, n° 1, pp. 79-88, 2009.
- [35] M. K. D. V. G. A. M. a. X. G. M. Dora, «Operational performance and critical success factor of lean manufacturing in European food processing SMEs,» *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 31, n° 2, pp. 156-164, 2013.
- [36] U. D. a. T. Mielke, «Lean Leadership – Fundamental Principles and their Application,» *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 569-574, 2013.
- [37] H. a. J. Evans, «Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company,» *Benchmarking*, vol. 7, n° 4, pp. 260-282, 2000.
- [38] R. Č. a. M. Vienažindienė, «An Empirical Study of Lean Concept Manifestation,» *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol. 207, pp. 225-233, 2015.
- [39] B. B. Flynn, S. Sakakibara y R. G. Schroeder, «Relationship between JIT and TQM: practice and performance,» *Acad. Manag. J.*, vol. 38, n° 5, pp. 1325-1360, 1995.
- [40] K. L. K. a. D. Lehmann, «Brands and branding: research findings and future priorities,» *Mark. Sci.*, vol. 25, n° 6, pp. 740-759, 2006.
- [41] T. Cheng, *Just in Time Manufacturing An Introduction*, Chicago, IL, USA: Chapman and Hall, 1996.
- [42] R. Inman, R. S. Sale, K. Green Jr. y D. Whitten, «Agile manufacturing: Relation to JIT, operational performance and firm performance,» *Journal of Operations Management*, vol. 29, n° 4, pp. 343-355, 2011.
- [43] S. Singh y D. Garg, «JIT System: Concepts, Benefits and Motivation in Indian Industries,» *International Journal of Management and Business Studies*, vol. 1, n° 1, pp. 26-30, 2011.
- [44] C. Lovelock, J. Reynoso, G. D'Andrea y L. Huete, *Administración de Servicios. Estrategias de marketing operaciones y recursos humanos*, México DF: Pearson Educación, 2004.
- [45] F. Rodríguez y L. Gomez Bravo, *Indicadores de calidad y productividad de la empresa*, Caracas: CAF, 1991.
- [46] M. Suárez y J. Miguel, «Implementación del Kaizen en México: un estudio exploratorio de una aproximación gerencial japonesa en el contexto latinoamericano,» *Innovar*, pp. 19-37, 2011.
- [47] INEGI, «<https://www.inegi.org.mx/>,» 10 Diciembre 2019. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/default.html#Informacion_general. [Último acceso: 20 Junio 2020].

- [48] SCIAN, «Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México,» Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascaliente , 2013.
- [49] INEGI, «Micro, pequeña, mediana y gran empresa,» Inegi, México, 2011.
- [50] DENUÉ, «<https://www.inegi.org.mx/>,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denué/>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [51] D. Clark, K. Silvester y S. Knowles, «Lean management systems: creating a culture of continuous quality improvement.,» *J. Clin. Pathol.*, vol. 66, n° 8, pp. 638-643, 2013.
- [52] R. Shah y P. Ward, «Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance,» *J. Oper. Manag.*, vol. 21, n° 2, pp. 129-149, 2003.
- [53] A. Wahab, M. Mukhtar y R. Sulaiman, «A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions,» *Procedia Technology*, vol. 11, pp. 1292-1298, 2013.
- [54] J. Hernández y A. Vizán , Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación, Madrid: Fundación EOI, 2013.
- [55] Lean Enterprise Institute, «Lean Enterprise Institute,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>. [Último acceso: 31 Mayo 2016].
- [56] J. Sánchez y M. Rajadell, Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad, España: Ediciones Díaz de Santos, 2010.
- [57] L. Padilla, «Lean Manufacturing Manufactura Esbelta Ágil,» *Revista Ingeniería Primero*, vol. No. 15 , n° 01, pp. 64-69, 2010.
- [58] J. Womack y D. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation, Segunda Edición ed., Nueva York: Free Press, 2003.
- [59] T. Ohno, El Sistema de producción Toyota: más allá de la producción a gran escala, España: Gestión 2000, 1991.
- [60] W. Lareau y R. Kaufman, Office Kaizen: Cómo controlar y reducir los costos de gestión en la empresa, Fund. Confemetal Editorial, 2003.
- [61] J. Rockart, «Chief executives define their own data needs,» *Harv. Bus Rev.*, vol. 57, n° 2, pp. 81-93, 1979.
- [62] K. Wong, «Critical success factors for implementing knowledge management in small and medium enterprises,» *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 105, n° 3, pp. 261-279, 2005.
- [63] R. Banuelas y F. Antony, «Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations,» *The TQM Magazine*, vol. 14, n° 2, pp. 92-99, 2002.
- [64] J. Black, «Design rules for implementing the Toyota Production System,» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, n° 16, pp. 3639-3664, 2007.
- [65] J. García, D. Rivera y A. Iniesta, «Critical success factors for Kaizen implementation in manufacturing industries in Mexico,» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 68, n° 1-4, pp. 537-545, 2013.

- [66] D. Manotas y L. Rivera, «Lean Manufacturing Measurement: The relationship between Lean activities and Lean metrics,» *Estudios Gerenciales*, vol. 23, n° 105, pp. 69-83, 2007.
- [67] M. Jafari, P. Akhavan, M. Fesharaki y M. Fathian, «Iran aerospace industries' KM approach based on a comparative study: a benchmarking on successful practices,» *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 79, n° 1, pp. 69-78, 2007.
- [68] T. Bonavia y J. Marin-Garcia, «Integrating human resource management into lean production and their impact on organizational performance,» *Int. J. Manpow.*, vol. 32, n° 8, pp. 923-938, 2011.
- [69] U. Dombrowski y T. Mielke, «Lean Leadership – Fundamental Principles and their Application,» *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 569-574, 2013.
- [70] L. Sui Pheng y T. Hui Fang, «Modern-day lean construction principles,» *Manag. Decis.*, vol. 43, n° 4, pp. 523-541, 2005.
- [71] C. Comm y D. Mathaisel, «A case study in applying lean sustainability concepts to universities,» *Int. J. Sustain. High. Educ.*, vol. 6, n° 2, pp. 134-146, 2005.
- [72] J. Bradley y J. Willett, «Cornell Students Participate in Lord Corporation's Kaizen Projects,» *Interfaces*, vol. 34, n° 6, pp. 451-459, 2004.
- [73] P. Ranky, «Eighteen “monozukuri-focused” assembly line design and visual factory management principles with DENSO industrial examples,» *Assem. Autom.*, vol. 27, n° 1, pp. 12-16, 2007.
- [74] J. Motwani, «A business process change framework for examining lean manufacturing: a case study.,» *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 103, n° 5, pp. 339-346, 2003.
- [75] M. Höök y L. Stehn, «Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production,» *Constr. Manag. Econ.*, vol. 26, n° 10, pp. 1091-1100, 2008.
- [76] D. Matt y E. Rauch, «Implementation of Lean Production in Small Sized Enterprises,» *Procedia CIRP*, vol. 12, pp. 420-425, 2013.
- [77] L. Grasso, Encuestas, elementos para su diseño y análisis, Primera Edición ed., Argentina: Encuentro Grupo Editor, 2006.
- [78] M. Arribas, «Diseño y validación de cuestionarios,» *Matronas prof.*, vol. 5, n° 17, pp. 23-29, 2004.
- [79] A. Soriano, «Diseño y validación de instrumentos de medición,» *Diá-logos*, vol. 8, n° 13, pp. 19-40, 2014.
- [80] E. Montero, «Escalas O Índices Para La Medición De Constructos: El Dilema Del Analista De Datos,» *Avances en Medición*, vol. 6, n° 506, pp. 17-26, 2008.
- [81] J. García, J. Aguilera y A. Castillo, «Guía técnica para la construcción de escalas de actitud,» *Odiseo, Revista electrónica de Pedagogía.*, vol. 8, n° 16, p. 13, 2011.
- [82] G. Morgan, J. Gliner y R. Harmon, «Measurement Validity,» *J. Am. Acad. Child. Adolesc. Psychiatry.*, vol. 40, pp. 729-31, 2001.

- [83] L. Cronbach, «Coefficient alpha and the internal structure of tests,» *Psychometrika*, vol. 16, n° 3, pp. 297-334, 1951.
- [84] J. Cortina, «What is coefficient alpha? An examination of theory and applications,» *Appl. Psychol.*, vol. 78, pp. 98-104, 1993.
- [85] J. C. Nunnally, «Psychometric Theory' 25 Years Ago and Now,» *Educ. Res.*, vol. 4, n° 10, pp. 7-21, 1975.
- [86] H. Oviedo y A. Campo-Arias, «Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach,» *Revista Colombiana de Psiquiatría*, vol. XXXIV, n° 4, pp. 572-580, 2005.
- [87] J. Batista-Foguet, G. Coenders y J. Alonso, «Análisis factorial confirmatorio. Su utilidad en la validación de cuestionarios relacionados con la salud,» *Medicina Clinica*, vol. 122, n° 1, pp. 21-27, 2004.
- [88] J. Hair, W. Black, B. Babin, R. Anderson y R. Tatham, *Multivariate Data Analysis*, 7th ed., Saddle River (NJ): Harlow: Pearson Education Limited, 2013.
- [89] J. A. Pérez-Gil y S. Chacón Moscoso, «Validez de constructo: El uso de análisis factorial exploratorio-confirmatorio para obtener evidencias de validez,» *Psicothema*, vol. 12, n° 2, pp. 442-446, 2000.
- [90] K. A. Bollen, «Confirmatory Factor Analysis,» de *Structural Equations with Latent Variables*, John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp. 226-318.
- [91] P. Ferrando y C. Anguiano-Carrasco, «El análisis factorial como técnica de investigación en psicología,» *Papeles del Psicólogo*, vol. 31, n° 1, pp. 18-33, 2010.
- [92] C. Méndez y M. Rondón, «Introducción al análisis factorial exploratorio,» *Revista Colombiana de Psiquiatría*, vol. 41, n° 1, pp. 197-207, 2012.
- [93] B. Byrne, *Structural Equation Modeling With Amos: Basic Concepts, Applications, and Programming*, New York, NY, USA: Routledge, 2016.
- [94] R. Schumacker y R. Lomax, *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling*, New York, NY, USA: Routledge, 2016.
- [95] T. Raykov y G. Marcoulides, *An Introduction to Applied Multivariate Analysis*, New York, NY, USA: Routledge, 2012.
- [96] B. Gutiérrez, *Cuaderno Metodológico: Modelos Lineales Estructurales, Conceptos Básicos, Aplicaciones y Programación con LISREL*, San José, Costa Rica: Instituto de Investigaciones Psicológicas, 2008.
- [97] M. Khine, *Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice*, Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers., 2013.
- [98] R. Kline, *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*, New York, NY, USA: The Guilford Press, 2016.
- [99] L. T. DeCarlo, «On the Meaning and Use of Kurtosis,» *Psychol. Methods*, vol. 2, n° 3, pp. 292-307, 1997.
- [100] K. V. Mardia, «Applications of Some Measures of Multivariate Skewness and Kurtosis in Testing Normality and Robustness Studies,» *Sankhyā: Indian J. Stat.*, vol. 36, n° 2, pp. 115-128, 1974.

- [101] K. V. Mardia, «Measures of Multivariate Skewness and Kurtosis with Applications,» *Biometrika*, vol. 57, n° 3, pp. 519-530, 1970.
- [102] T. Raykov y G. A. Marcoulides, *A First Course in Structural Equation Modeling* (2ª ed.), New Jersey, U.S.A.: Lawrence Erlbaum Associates, 2006.
- [103] A. Manzano y S. Zamora, *Sistema de Ecuaciones Estructurales: Una Herramienta de Investigación*, México, México: CENEVAL, 2009.
- [104] K. Jöreskog y D. Sörbom, *LISREL 8: User's Reference Guide*, Chicago: Inc. Scientific Software International, 1996.
- [105] L. H. a. P. M. Bentler, «Cutoff Criteria for Fit Indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria Versus New Alternatives,» *Struct. Equ. Model*, vol. 6, n° 1, pp. 1-55, 1999.
- [106] P. M. Bentler, *EQS 6 Structural Equations Program Manual*, Encino, CA: Multivariate Software Inc., 2006.
- [107] B. Wheaton, B. Muthen, D. F. Alwin y G. F. Summers, «Assessing Reliability and Stability in Panel Models,» *Sociol. Methodol.*, vol. 8, pp. 84-136, 1997.
- [108] T. Brown, *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research*, London, U.K: The Guilford Press, 2015.
- [109] R. C. M. W. Browne, «Alternative Ways of Assessing Model Fit,» *Sociol. Methods Res.*, vol. 21, n° 2, pp. 230-258, 1992.
- [110] L. T. H. a. P. Bentler, «Evaluating Model Fit. In R. H. Hoyle (Ed.), *Structural Equation Modeling: Concepts, Issues, and Applications*,» *Struct. Equ. Model*, vol. 6, n° 1, pp. 1-55, 1995.
- [111] P. M. B. a. D. Bonett, «Significance Tests and Goodness of Fit in the Analysis of Covariance Structures,» *Psychol. Bull.*, vol. 88, n° 3, pp. 588-606, 1980.
- [112] H. W. M. a. J. Balla, «Goodness-of-Fit in CFA: The Effects of Sample Size and Model Parsimony,» *Qual. Quant.*, vol. 28, n° 2, pp. 185-217, 1994.
- [113] R. Hernández, C. Fernández y M. P. Baptista, *Metodología de la investigación*, México D.F.: McGraw-Hill , 2010.
- [114] J. Padua, *Técnicas de Investigación Aplicadas a las Ciencias Sociales*, México City, México: Fondo de Cultura Económica, 2018.
- [115] T. Condori, «Operacionalización de las variables psicológicas,» *Revista de Investigacion Psicologica*, vol. 13, pp. 63-78, 2015.
- [116] M. Carpita y M. Manisera, «Constructing indicators of unobservable variables from parallel measurements,» *Electron. J. Appl. Stat. Anal*, vol. 5, n° 3, pp. 320-326, 2012.
- [117] M. Maciel-Monteon, J. Limon-Romero, D. Tlapa, Y. Baez-Lopez y H. Solano-Lamphar, «Measuring Critical Success Factors for Six Sigma in Higher Education Institutions: Development and Validation of a Surveying Instrument,» *IEEE Access*, vol. 8, pp. 1813-1823,, 2020.
- [118] J. L. Arbuckle, «Diseño y Validación de Cuestionarios,» *Matronas Profesión*, vol. 5, n° 17, pp. 23-29, 2014.

- [119] L. Price, *Psychometric Methods: Theory Into Practice*, London, U.K: The Guilford Press, 2017.
- [120] M. Malhotra y V. Grover, «An assessment of survey research in POM: From constructs to theory,» *Journal of Operations Management*, vol. 16, n° 4, pp. 407-425, 1998.
- [121] J. Saraph, P. Benson y R. Schroeder, «An instrument for measuring the critical factors of quality management,» *Decision Sciences*, vol. 20, n° 4, pp. 810-829, 1989.
- [122] S. Halliday, «So what exactly is Six-Sigma?,» *Works Manag*, vol. 54, pp. 1-15, 2001.
- [123] R. Pande , Neuman y R. Cavanagh, *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*, New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.
- [124] K. Jeyaraman y L. Kee Teo, «A conceptual framework for critical success factors of lean Six Sigma: Implementation on the performance of electronic manufacturing service industry,» *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 1, n° 3, pp. 191-215, 2010.
- [125] J. Antony y C. Fergusson, «Six Sigma in the software industry: results from a pilot study,» *Manag. Audit. J.*, vol. 19, n° 8, pp. 1025-1032, 2004.
- [126] J. Antony , M. Kumar y C. Madu, «Six Sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: some empirical observations,» *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 22, n° 8, pp. 860-874, 2005.
- [127] Y. Sujar, P. Balachandran y N. Ramasamy, «Six Sigma the level of quality characteristics – a study on Indian software industries,» *AIMS Int. J. Manag.*, vol. 2, n° 1, pp. 17-27, 2008.
- [128] R. Snee y E. Gardner, «Putting all together-continuous improvement is better than postponed perfection,» *Qual. Prog.*, pp. 56-59, 2008.
- [129] Sodikoglu y C. Zehir, «Investigating the effects of innovation and employee performance on the relationship between TQM practices and firm performance: an empirical study of Turkish firms,» *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 127, n° 1, pp. 13-26, 2010.
- [130] S. Li, S. Rao, T. Ragu-Nathan y B. Ragu-Nathan, «Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices,» *J. Oper. Manage*, vol. 23, pp. 618-641, 2005.
- [131] H. Zadry y S. Yusof, «Total quality management and theory of constraints implementation in Malaysia automotive suppliers: a survey result,» *Ital. Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 17, n° 8, pp. 999-1022, 2006.
- [132] R. Abdullah, M. Keshavlall y K. Tatsuo, «Supplier development framework in the Malaysia automotive industry: proton's experience,» *Int. J. Econ. Manag.*, vol. 2, n° 1, pp. 29-58,, 2008.
- [133] E. Barboza, «Metodología para la integración de Seis Sigma y Lean en una empresa PyME: Un enfoque participativo entre la academia y las PyMEs

- Tamaulipeecas,» Available:
https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/2681/tesis_998027.pdf, 2013.
- [134] M. Yi-Zhong, Y. Gang, W. Li-Lin y S. Ree, «The critical success factors of Six Sigma in China manufacturing industry,» *Asian J. Qual.*, vol. 9, n° 2, pp. 39-56, 2008..
 - [135] D. Desai , J. Antony y M. Patel, «An assessment of the critical success factors for Six Sigma implementation in Indian industries,» *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 61, n° 4, pp. 426-444, 2012.
 - [136] J. Arnold, S. Arad, J. Rhoades y F. Drasgow, «The empowering leadership questionnaire: the construction and validation of a new scale for measuring leader behaviors,» *J. Organ. Behav.*, vol. 21, n° 3, pp. 249-269, 2000.
 - [137] T. Laosirihongthong, . S.-U. Rahman y K. Saykhun, «Critical success factors of six-sigma implementation: An analytic hierarchy process based study,» *Int. J. Innov. Technol. Manag.*, vol. 3, n° 2, pp. 303-319, 2006.
 - [138] T. Doolen, M. Hacker y H. Van Aken., «The impact of organizational context on work team effectiveness: A study of production team,» *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 50, n° 3, pp. 285-296, 2003.
 - [139] S. Chakravorty, «Six Sigma failures: An escalation model,» *Oper. Manag. Res.*, vol. 2, n° 44, pp. 44-55, 2009.
 - [140] S. V. Deshmukh y R. R. Lakhe, «Development and validation of an instrument for Six Sigma implementation in small and medium sized enterprises,» de *in Proceedings of the 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET-in Proceedings of the 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET-09), IEEE Computer Society, Piscataway, NJ, Nagpur, 2009.*
 - [141] I. Salaheldin, «Critical success factors for TQM implementation and their impact on performance of SMEs,» *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 58, n° 3, pp. 215-237, 2008.
 - [142] M. B. Vandenbosch, «Confirmatory Compositional Approaches to the Development of Product Spaces,» *Eur. J. Mark.*, vol. 30, n° 3, pp. 23-46, 1996.
 - [143] H. Kaiser y J. Rice, «Little jiffy, mark Iv,» *Educ. Psychol. Meas*, vol. 34, n° 1, pp. 111-117, 1974.
 - [144] I. Hatcher, *Step-by-Step Approach to Using the SAS System for Factor Analysis and Structural Equation Modeling*, Cary, NC.: SAS: Institute Inc, 1994.
 - [145] J. Hoelter, «The analysis of covariance structures: Goodness-of fit indices,» *Sociol. Methods Res*, vol. 11, pp. 325-344, 1983.
 - [146] I. Alhuraish, C. Robledo y A. Kobi, «A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 165, pp. 325-337, 2017.
 - [147] H. Chong, T. Ramayah y C. Subramaniam, «The relationship between critical success factors, internal control and safety performance in the Malaysian manufacturing sector,» *Safety Science*, vol. 104, pp. 179-188, 2018.

- [148] C. Kuei, C. Madu y C. Lin, «The relationship between supply chain quality management practices and organizational performance,» *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 18, n° 8, pp. 864-872, 2001.
- [149] G. Eckes, *The Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Process into Profits*, New York, NY: Willey, 2001.
- [150] J. Manley, «Implementation Attitudes: A Model and a Measurement Methodology,» de *Implementing Operating Research and Management Science*, ed. Schultz. R. L. and Slevin, D. P., New York, Elsevier, 1973.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1

Cuestionario Factores Críticos de Éxito para la implementación de proyectos de mejora *Lean Manufacturing* en empresas de manufactura en México.



PRESENTACIÓN:

Lean Manufacturing es considerada como una de las principales metodologías utilizadas para mejorar los sistemas de producción teniendo como base la eliminación del desperdicio y el enfoque al cliente. El objetivo del presente cuestionario es recolectar información verídica y confiable sobre la metodología *Lean Manufacturing* de las empresas manufactureras del Sector Fabricación y Equipo de Transporte. Se busca conocer las causas de la implementación, los factores críticos de éxito, las herramientas utilizadas y los beneficios obtenidos.

Es de suma importancia que sus respuestas sean lo más apegada a la realidad, le reiteramos que no hay respuestas buenas ni malas; el cuestionario consta de cinco sesiones que podrá contestar en un tiempo aproximado de 12 a 15 minutos.

Cabe mencionar que toda la información aquí proporcionada es confidencial y con fines netamente académicos, y forma parte de una investigación desarrollada por el Cuerpo Académico Calidad y Productividad de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California.

1.-DATOS DEMOGRÁFICOS

1.1 ¿Cuál es el sector industrial en el que mejor se ubica su empresa?

- | | |
|--------------------------|--|
| ☐ | Fabricación de carrocerías y remolques |
| ☐ | Fabricación de otras partes para vehículos automotrices |
| ☐ | Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores |
| ☐ | Fabricación de partes de sistemas de frenos para vehículos automotrices |
| ☐ | Fabricación de piezas metálicas troqueladas para vehículos automotrices |
| ☐ | Fabricación de equipo aeroespacial |
| ☐ | Fabricación de motores de gasolina y sus partes para vehículos automotrices |
| ☐ | Fabricación de asientos y accesorios interiores para vehículos automotores |
| ☐ | Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices |
| ☐ | Fabricación de bicicletas y triciclos |
| ☐ | Fabricación de partes de sistemas de transmisión para vehículos automotores |
| ☐ | Fabricación de embarcaciones |
| ☐ | Fabricación de equipo ferroviario |
| ☐ | Fabricación de automóviles y camionetas |
| ☐ | Fabricación de camiones y tractocamiones |
| ☐ | Fabricación de motocicletas |
| ☐ | Fabricación de otro equipo de transporte |
| ☐ | Otro-Escribe aquí |

1.2 ¿Número aproximado de empleados que tiene su empresa?

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| ☐ | 1-10 (Micro) |
| ☐ | 11-50 (Pequeñas) |
| ☐ | 51-250 (Medianas) |
| ☐ | Más de 250 (Grandes) |

1.3 ¿Cuál es el puesto que mejor define su trabajo?

- | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ☐ | Director General | ☐ | Ingeniero de Mejora Continua |
| ☐ | Gerente de Planta | ☐ | Líder De Proyecto |
| ☐ | Gerente de Producción | ☐ | Supervisor |
| ☐ | Gerente de Operaciones | ☐ | Otro-Escribe aquí |
| ☐ | Ingeniero de producción / procesos | | |

1. 4 ¿Cuántos años tiene usted en su puesto actual?

- ☐ < de 2 años
- ☐ 2 – 5 años
- ☐ 5 – 10 años
- ☐ >10 años

1.-DATOS DEMOGRÁFICOS

1.5 Género del encuestado.

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

1.6 ¿ En qué Estado se encuentra ubicada su empresa?

1.7 ¿Cuál es su correo electrónico de contacto?

1.8 ¿Cuál es el nombre de su empresa ?

2.- ELEMENTOS DE LEAN MANUFACTURING

2.1 ¿Conoce o ha oído hablar de la metodología Lean Manufacturing?

☐ Sí

☐ NO

2.2 ¿Su organización ha puesto en práctica la metodología Lean Manufacturing?

☐ Sí

☐ NO

2.3 Si su respuesta fue Sí ¿Cuál fue el motivo para implemetar? (Se pueden seleccionar más de una respuesta)

- ☐ Presiones constantes para mejorar el rendimiento operativo
- ☐ Mantener la ventaja competitiva en precio y servicio
- ☐ La presión para mejorar la ganancia
- ☐ Clientes exigentes ciclo de pedido más corto
- ☐ Clientes demandan precios reducidos
- ☐ Otros- Escribe aquí _____

2.4 Si su respuesta fue No ¿Cuáles son las razones para no implementarla? (Se pueden seleccionar más de una respuesta)

☐	Resistencia al cambio
☐	Tipología de producto
☐	Tamaño de empresa reducido
☐	Sistema complicado
☐	Satisfacción con los métodos actuales
☐	Falta de tiempo
☐	Falta de recursos
☐	Desconocimiento de las técnicas de Lean
☐	Otros-Escribe aquí _____

2.5 ¿Cómo comenzó su organización con la implementación de Lean Manufacturing?

☐	Con el apoyo de un consultor externo
☐	Con la información de un equipo de mejora continua interno
☐	Ambas

3.- FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO

A continuación indique cuál es el nivel de importancia que usted le asigna a cada uno de los siguientes elementos durante el proceso de implementación de Lean Manufacturing (LM).

3.1 INVOLUCRAMIENTO Y COMPROMISO DE LA ALTA DIRECCIÓN

De acuerdo del apoyo que los Directivos prestan al realizar proyectos de Lean Manufacturing desde su punto de vista, seleccione el nivel en el que se considera cada uno de los siguiente llevar a cabo dicho proyecto, basándose en la siguiente escala.

Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
1	2	3	4	5

En la empresa, la alta dirección:

Apoya y participa activamente en las actividades de mejora LM.

1	2	3	4	5

Considera la mejora de la calidad como una manera de aumentar los logros.

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Fomenta la participación del personal en la aplicación de proyectos LM.

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Tiene comunicación escrita de forma regular sobre noticias y éxitos de proyectos LM.

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Provee de presupuesto y recursos adecuados para la formación de los involucrados en los proyectos LM.

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

3.2 EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO

De acuerdo a la educación y entrenamiento que se lleva a cabo al realizar proyectos de Lean Manufacturing en su empresa, desde su punto de vista, seleccione el nivel en el que se considera cada uno de los siguientes elementos al llevar a cabo dicho proyecto.

El personal involucrado en proyectos LM:

Recibe capacitación respecto a cada aspecto relacionados con LM bajo un programa formal de entrenamiento.

Se forma en habilidades interactivas (tales como habilidades de comunicación, habilidades de reuniones eficaces, empoderamiento y capacidad de liderazgo).

Cuenta con un nivel de habilidad alta en comparación con otras empresas de nuestro giro.

Recibe capacitación técnica adecuada por parte de la organización..

La formación está disponible para los miembros del equipo cuando se necesita

1	2	3	4	5

3.3 LIDERAZGO DE PROYECTOS

De acuerdo al liderazgo que se da por parte de los directivos en proyectos de Lean Manufacturing (LM) en su Empresa, desde su punto de vista, seleccione el nivel en el que se considera cada uno de los siguientes elementos al llevar a cabo dicho proyecto.

En su empresa, le jefe inmediato o líder del proyecto:

Alienta firmemente la participación de los empleados en proyectos LM.

Ayuda al grupo de trabajo a detectar las áreas en las que se necesita más formación en LM.

Explica las reglas y las expectativas del grupo de trabajo de proyectos LM.

Muestra su preocupación por el bienestar de los miembros del grupo de trabajo de proyectos LM.

Se toma el tiempo para discutir, con paciencia, las preocupaciones de los miembros del grupo de trabajo en proyectos LM.

1	2	3	4	5

3.4 ENFOQUE EN EL CLIENTE

De acuerdo a la importancia que se le da al cliente al realizar proyectos de Lean Manufacturing (LM) en su Empresa, desde su punto de vista, seleccione el nivel en el que se considera cada uno de los siguientes elementos al llevar a cabo dicho proyecto, basándose en la escala anterior.

En su empresa:

Los clientes están involucrados en los proyectos.

1	2	3	4	5

Los clientes participan activamente en el nuevo producto.

--	--	--	--	--

Los clientes comparten información sobre la demanda actual con el departamento de marketing.

--	--	--	--	--

La selección de proyectos LM impacta positivamente en la satisfacción del cliente.

--	--	--	--	--

Se evalúan y predicen los requisitos del cliente con regularidad.

--	--	--	--	--

3.5 VINCULACIÓN LEAN CON PROVEEDORES

De acuerdo a la vinculación con proveedores al realizar proyectos de Lean Manufacturing en su Empresa, desde su punto de vista, seleccione el nivel en el que se considera cada uno de los siguientes elementos al llevar a cabo dicho proyecto, basándose en la escala anterior.

En su empresa:

Se involucran a los proveedores en los proyectos LM.

1	2	3	4	5

Los proveedores participan activamente en los proyectos de mejora y la organización brinda apoyo y supervisa las actividades de mejora del proveedor.

--	--	--	--	--

Los problemas se resuelven conjuntamente con los proveedores.

--	--	--	--	--

Se busca establecer relaciones a largo plazo y una asociación de trabajo con el proveedor clave.

--	--	--	--	--

Se considera la calidad como el principal criterio en la selección de proveedores..

--	--	--	--	--

4.- HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING

De la siguiente selección indique cuál de las herramientas Lean Manufacturing (LM) conoce y con qué frecuencia la ha utilizado en los proyectos de mejora dentro de su organización.

Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
1	2	3	4	5

Seleccione a continuación:

Mapeo de la cadena de valor (VSM)

Justo a tiempo

Kaizen

5's

Kanban

Trabajo estandarizado

Administración Total de Calidad (TQM)

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Sistema Jalar

Fabrica Visual

Benchmarking

Single-Minute Exchange of Die (SMED)

Otra-Escribe aquí _____

1	2	3	4	5

5.- BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN LEAN MANUFACTURING

Para cualquier estrategia de mejora de calidad, el resultado es lo más importante. De los siguientes beneficios indique con qué frecuencia se han obtenido al aplicar proyectos Lean Manufacturing (LM) en su empresa.

Seleccione a continuación:

Reducción de costos de mala calidad

Mejora en la satisfacción del cliente.

Calidad mejorada y menos retrabajos

Rendimiento en la entrega

Reducción en la cantidad de residuos

Ventaja competitiva mejorada

1	2	3	4	5

¡Gracias por su participación en el proyecto de esta investigación!