



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diseño de una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras

Oscar Mauricio Castañeda Valencia

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización

Medellín, Colombia

2022

Diseño de una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras

Oscar Mauricio Castañeda Valencia

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Industrial

Director (a):

Ph.D. Alexander Alberto Correa Espinal

Línea de Investigación:

Ingeniería y sistemas de producción

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización

Medellín, Colombia

2022

(Dedicatoria o lema)

“la cultura siempre se come a la estrategia de un bocado”.

Peter Drucker

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Oscar Mauricio Castañeda Valencia

Fecha 29/06/2022

Agradecimientos

El aprendizaje no es un componente individual, si no que requiere de un aporte colectivo que suma esfuerzos para que se dé integralmente. Es por esta razón que, de forma muy especial, quiero reconocer todo el apoyo brindado por la Universidad Nacional de Colombia, por su apertura y aceptación, para desarrollar mi formación en su institución, al profesor Alexander Alberto Correa Espinal, quien siempre estuvo dispuesto a la orientación y formación académica. A la Universidad Católica de Oriente, por acompañar mi proceso, valorándolo dentro de su entorno institucional. A mi esposa Lina García e hijas Susana Castañeda G. y Mía Castañeda G. las cuales son mi motivación absoluta y acompañamiento incondicional. A mi amigo Harbey Rodriguez, quien nunca dejo que este desafío me abrumara y que sus palabras de aliento fueron energía para cumplir este gran sueño.

Resumen

Antecedentes: aumentar la productividad en las PYMEs, es el reto que tienen los directivos y gerentes de las organizaciones, es por esta razón que se da importancia al desarrollo de nuevas metodologías de mejoramiento, en la presente tesis de maestría, se realiza una investigación para identificar los componentes estructurales, que nos lleven a consolidar una metodología integradora con las temáticas de la *Gestión por Procesos* (GP), el *Lean Six Sigma* (LSS) y la *Industria 4.0* (I4.0) para el mejoramiento del desempeño en medianas empresas manufactureras (PYMEs). Teniendo como soporte bibliográfico, el material científico publicado entre el año 2005 hasta el año 2020 en idioma inglés.

Objetivo: diseñar una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma que aporte al mejoramiento del desempeño de las PYMEs manufactureras.

Metodología: para el desarrollo del estudio, se realiza la construcción del estado del arte, basado en la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), la cual permite la identificación de futuras oportunidades de investigación. Luego, se construye la estructura operativa PYME, la caracterización de los componentes temáticos y la definición de elementos técnicos base del constructo metodológico, que ofrece un inventario como soporte para la construcción de la metodología integradora. Posteriormente, se desarrolla la metodología integradora GP, LSS, I4.0 en PYMEs, la cual esta fundamentada en el núcleo con la estructura operativa PYME y soportada por ciclos de mejoramiento. Finalmente, se diseñan instrumentos de validación, que permite tener retroalimentación del desempeño de la metodología integradora, la capacidad de producción y el cumplimiento del estándar.

Resultados: construcción de la metodología que integra las temáticas GP, LSS, I4.0 para el mejoramiento del desempeño de las PYMEs, conformada por: 1. **Estructura operativa (PYME)**, diseñada en función de sus características particulares, teniendo presente el ecosistema donde interactúa y la capacidad de adaptación al entorno industrial, 2. **Diagnóstico**, se construye un escenario claro del proceso a intervenir, 3. **Intervención**, se define el estándar del proceso, acompañado de un sistema regulador basado en el ciclo DMAIC, 4. **Retroalimentación**, se verifica la capacidad del proceso intervenido en capacidad y cumplimiento de estándar, acompañado de validadores y tecnología I4.0, 5. **Ajuste**, se definen las metas, límites de alarma y proyectos de mejoramiento, acompañado por un sistema auto regulador, soportado en el ciclo PHVA y apoyado con las tecnologías I4.0, entregando información disponible para la toma de decisiones, 6. **Mejoramiento**, se acondiciona el proceso para el mejoramiento de la productividad en las PYMEs, acompañado de las técnicas 5S y Kaizen. Finalmente, se definen instrumentos de validación, que permite tener retroalimentación del desempeño de la metodología integradora, la capacidad de producción y el cumplimiento del estándar, permitiendo evaluar su desempeño y realizar ajustes para su mejoramiento. La importancia de los validadores, radica en que la metodología integradora, se fundamenta en ciclos de mejoramiento, de modo que la retroalimentación constante es fundamental, para el buen desempeño de la metodología y su impacto en el mejoramiento del desempeño de las PYMEs.

Palabras clave: Gestión por Procesos (GP), Lean Six Sigma (LSS), Industria 4.0 (I4.0), PYMEs.

Abstract

Design of a methodology for the integration of process management, Industry 4.0 technology and Lean Six Sigma principles in manufacturing SMEs

Background: increasing productivity in SMEs is the challenge facing directors and managers of organizations, it is for this reason that importance is given to the development of new improvement methodologies, in this master's thesis, an investigation is carried out to identify the structural components, which lead us to consolidate an integrating methodology with the themes of Process Management (PM), Lean Six Sigma (LSS) and Industry 4.0 (I4.0) for the improvement of performance in medium-sized manufacturing companies (SMEs). Having as bibliographic support, the scientific material published between 2005 and 2020 in English.

Objective: to design a methodology for the integration of process management, Industry 4.0 technology and Lean Six Sigma principles that contribute to improving the performance of manufacturing SMEs.

Methodology: for the development of the study, the construction of the state of the art is carried out, based on the Systematic Review of the Literature (RSL), which allows the identification of future research opportunities. Then, the SME operational structure is built, the characterization of the thematic components and the definition of technical elements based on the methodological construct, which offers an inventory as support for the construction of the integrating methodology. Subsequently, the GP, LSS, I4.0 integrative methodology in SMEs is developed, which is based on the core with the SME operating structure and supported by improvement cycles. Finally, validation instruments are designed, which allow feedback on the performance of the integrative methodology, the production capacity and compliance with the standard.

Results: construction of the methodology that integrates the GP, LSS, I4.0 themes to improve the performance of SMEs, made up of: 1. Operational structure (SMEs), designed based on its particular characteristics, keeping in mind the ecosystem where interacts and the ability to adapt to the industrial environment, 2. Diagnosis, a clear scenario of the process to be intervened is built, 3. Intervention, the process standard is defined, accompanied by a regulatory system based on the DMAIC cycle, 4. Feedback, the capacity of the intervened process is verified in terms of capacity and standard compliance, accompanied by validators and I4.0 technology, 5. Adjustment, goals, alarm limits and improvement projects are defined, accompanied by a self-regulating system, supported by the PHVA cycle and supported with I4.0 technologies, providing information available for decision making, 6. Improvement, the process is conditioned to improve the productivity in SMEs, accompanied by 5S and Kaizen techniques. Finally, validation instruments are defined, which allow feedback on the performance of the integrative methodology, the production capacity and compliance with the standard, allowing its performance to be evaluated and adjustments to be made for its improvement. The importance of the validators lies in the fact that the integrative methodology is based on improvement cycles, so that constant feedback is essential for the good performance of the methodology and its impact on improving the performance of SMEs.

Keywords: Process Management (GP), Lean Six Sigma (LSS), Industry 4.0 (I4.0), SMEs.

Tabla de contenido

Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XV
Introducción	17
1. Estado del arte.....	19
1.1 Planeación	20
1.1.1 Preguntas de investigación.....	20
2.1.1 Criterios definidos.....	21
1.2 Ejecución	22
1.2.1 Búsqueda en la literatura	22
1.2.2 Evaluación de los artículos	22
1.2.3 Síntesis de datos	30
1.3 Resultados	41
1.3.1 Limitaciones.....	43
1.3.2 Futuras investigaciones	43
2. Caracterización de componentes temáticos y definición de elementos técnicos base del constructo metodológico.	45
2.1 Atributos particulares de las estructuras organizacionales	46
2.1.1 Cumbre estratégica	47
2.1.2 Línea media.....	47
2.1.3 Tecnoestructura.....	47
2.1.4 Staff de apoyo	47
2.1.5 Núcleo operativo.....	48
2.2 Clasificación de las unidades productivas	53
2.3 Elementos de adaptabilidad en el entorno de las PYMEs.....	54
2.3.1 La estandarización.....	55
2.3.2 Información.....	55
2.3.3 Flexibilidad y capacidad de respuesta	55
2.3.4 El conocimiento	56
2.3.5 Estructura	56
2.3.6 Estrategia	56
2.3.7 Talento	57
2.3.8 Cultura.....	57
2.3.9 Propósito	57
2.4 Ecosistema donde interactúan las PYMEs	61
2.4.1 Política gubernamental	61
2.4.2 Finanzas	62
2.4.3 Cultura.....	62
2.4.4 Soporte empresarial e infraestructura	62
2.4.5 Capital humano.....	62
2.4.6 Ventas nacionales e internacionales.....	62
2.4.7 Tecnología e innovación	62

2.5	Características de las PYMEs.....	68
2.6	Componentes de la Gestión por Procesos (GP)	70
2.6.1	Gestión por Procesos (GP)	72
2.6.2	La Gestión de procesos en la estructura organizacional.....	74
2.6.3	Gestión de procesos dentro de la dinámica de la empresa	74
2.7	Componentes de la Industria 4.0 (I4.0)	75
2.8	Componentes de Lean Six Sigma (LSS).....	79
2.9	Consolidado paralelo de componentes GP, I4.0, LSS en función de la estructura operativa PYMEs.....	82
3.	Metodología integradora (LSS-I4.0-PYMEs).....	84
3.1	Proceso elaboración metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.	85
3.1.1	Recolección de la información.....	87
3.1.2	Revisar la información	87
3.1.3	Organizar la información	87
3.1.4	Preparar la información para el análisis.....	88
3.1.5	Descubrir aportes de valor	92
3.1.6	Codificación axial de los aportes	93
3.1.7	Describir las relaciones e interconexiones entre temáticas - Generar teoría resultante.....	98
3.2	Instructivo de uso de la metodología integradora	99
4.	Instrumento validador	105
4.1	Determinar instrumento de validación del prototipo.....	106
4.1.1	Validador metodológico (VM)	108
4.1.2	Validador mejoramiento del desempeño (VCP)(VCE)	109
4.2	Validación del instrumento	114
4.2.1	Diagnostico	114
4.2.2	Intervención.....	115
4.2.3	Retroalimentación	117
4.2.4	Ajuste.....	123
4.2.5	Mejoramiento	124
4.3	Ajustar metodología	124
5.	Conclusiones y recomendaciones	125
5.1	Conclusiones	125
5.2	Recomendaciones	127
Anexos.....	128
A.	Lean Six Sigma e Industria 4.0 en Las Pymes Manufactureras: una revisión de la literatura	128
B.	Diagrama de Pareto – Factores de estudio.	128
C.	Formulario de calificación	129
D.	Perfiles profesionales participantes en la calificación.....	130
E.	Resultado calificación Matriz Esfuerzo e Impacto.....	130
F.	Base de Datos Ubidots.....	132
Bibliografía	133

Lista de figuras

Figura 1. RSL	19
Figura 2. Decantación del material científico (Moher et al., 2014).....	23
Figura 3. Participación de las temáticas de estudio.	24
Figura 4. Publicaciones de las metodologías PYMEs-LSS-I4.0.	25
Figura 5. LSS-PYMEs por Autores. Scopus.....	26
Figura 6. LSS-PYMEs por Países. Scopus.	27
Figura 7. PYMEs-I4.0 Autores. Scopus.....	27
Figura 8. PYMEs-I4.0 Países. Scopus.....	28
Figura 9. LSS-I4.0 Autores. Scopus.....	29
Figura 10. LSS-I4.0 Países. Scopus.	29
Figura 11. Componentes temáticos GP-LSS-I4.0-PYMEs.	46
Figura 12. Las cinco partes básicas de la organización.	46
Figura 13. Estructura ecosistema emprendedor PYMEs.....	61
Figura 14. Marco contribuciones ecosistema emprendedor PYMEs	63
Figura 15. Matriz de relacionamiento – Componentes Estructura PYME.	66
Figura 16. Estructura PYME.	67
Figura 17. Ciclo de Gestión-Mejora continua.	71
Figura 18. Arquitectura de un proceso.	71
Figura 19. Arquitectura de proceso aplicado al capital humano.	72
Figura 20. Conocimiento y uso de las tecnologías Industria 4.0	77
Figura 21. Historia Lean Six Sigma.....	80
Figura 22. Componentes Metodológicos Orientados al Mejoramiento PYMEs.....	82
Figura 23. Metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.	85
Figura 24. Proceso elaboración metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.	86
Figura 25. Categorización de cuadrantes.	90
Figura 26. Categorización Esfuerzo e Impacto.	91
Figura 27. Prototipo Metodología Integrada GP, LSS, I4.0 en PYMEs.....	99
Figura 28. Instrumento validador metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.	105
Figura 29. Protocolo para la construcción del Instrumento validador.	107
Figura 30. Instrumento validador.	108
Figura 31. Validador Metodológico.	109
Figura 32. Instrumento validador capacidad de producción (VCP).....	110

Figura 33. Esquema del sistema ciber físico - Teórico.	111
Figura 34. Plataforma Ubidots.	112
Figura 35. Instrumento validador cumplimiento del estándar (VCE).	113
Figura 36. Lista de Chequeo Diagnostico.	114
Figura 37. Estándar proceso elaboración pan tajado.	116
Figura 38. Esquema del sistema ciber físico - Aplicado.	117
Figura 39. Plataforma Ubidots.	118
Figura 40. Plataforma Ubidots – descarga información.	118
Figura 41. Indicadores de Gestión KPI´s (VCP).	119
Figura 42. Lista de chequeo verificación del estándar (VCE).	121
Figura 43. Informe de la verificación del estándar (VCE).	121

Lista de tablas

Tabla 1. Material científico aplicable a la investigación	23
Tabla 2. Temáticas, autores y países.....	30
Tabla 3. Criterio de calificación de los factores de estudio	30
Tabla 4. Factores de estudio, autores, temática – PYMEs (56%).....	31
Tabla 5. Factores de estudio, autores, temática - LSS (26%).....	33
Tabla 6. Factores de estudio, autores, temática - I4.0(18%)	34
Tabla 7. Objetivo de la metodología.....	35
Tabla 8. Tipo de estudio.....	36
Tabla 9. Taxonomía Gestión.....	37
Tabla 10. Taxonomía Estructura	39
Tabla 11. Taxonomía Investigación.....	40
Tabla 12. Tipos de estructura organizacional.....	48
Tabla 13. Configuraciones organizacionales.....	49
Tabla 14. Descripción de las configuraciones organizacionales.....	51
Tabla 15. Clasificación de las organizaciones.....	53
Tabla 16. Evolución de modelos organizacionales.....	54
Tabla 17. Factores de adaptación al cambio organizacional	58
Tabla 18. Componentes básicos interacción del ecosistema	64
Tabla 19. Clasificación PYMEs	68
Tabla 20. Componentes de la Gestión por procesos.....	73
Tabla 21. Componentes de la Industria 4.0.....	75
Tabla 22. Modelo adopción de BPMS	78
Tabla 23. Componentes Lean Six Sigma	80
Tabla 24. Escala de calificación	89
Tabla 25. Instrucciones de uso	100
Tabla 26. Cuadro Validador Capacidad Producción (VCP)	120
Tabla 27. Cuadro Validador Cumplimiento Estándar (VCE)	122
Tabla 28. Plan de trabajo para ajuste del proceso	123

Introducción

La mejora de la productividad es básicamente uno de los principios básicos de la supervivencia empresarial, el uso eficiente de los recursos, la reducción de los desperdicios, usar racionalmente la tecnología, controlar la producción, la cultura organizacional, entrega rápida de productos de excelente calidad, entre otros, son elementos esenciales en el funcionamiento adecuado de cualquier negocio, para ampliar información sobre estos aspectos se recomienda consultar los siguientes trabajos: (Ramkumar et al., 2019), (Mittal et al., 2018), (Moeuf et al., 2018), (Fuentes et al., 2021), (Park et al., 2020).

La globalización trae nuevos desafíos, los cuales exigen a las empresas mejorar sus procesos productivos, lo que deriva a que temas como la *Gestión por Procesos*, *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, *I4.0* y *PYMEs*, sean cada vez más importantes como mecanismo para generar beneficios de productividad organizacional (Huang et al., 2019). Encontrar una metodología que integre las temáticas antes mencionadas representa una ventaja competitiva para las PYMES que logren su implementación en sus sistemas productivos.

Las temáticas a intervenir en esta investigación, surgen de un estudio exploratorio donde se examinan bases de datos científicas como: Listado de recursos electrónicos UNAL, Google Académico, Taylor and Francis, Springer Journals, Web of Science, Science Direct, IEEE Xplore, Proquest, Scopus, Jstor. Los elementos combinados como el Lean Manufacturing y Six Sigma, donde se obtuvieron 800 resultados; el Lean Manufacturing y PYMEs, 329 resultados, el Six Sigma y PYMEs, 175 resultados; las PYMEs y desperdicio, 305 resultados; el Six Sigma y desperdicio, 508 resultados; el Lean Manufacturing y pérdidas, 1.722 Resultados y finalmente, el LSS, 2.170 resultados. Permitieron dar una guía, para definir los temas de interés para llevar a cabo la investigación, la cual se basa en el LSS, la I4.0 y las PYMEs.

La originalidad del estudio, está basada en identificar las relaciones entre las temáticas (GP, LSS, I4.0 y PYMEs), las cuales son utilizadas individualmente en el mundo empresarial para mejorar el rendimiento de las operaciones productivas. Por ello, es interesante conocer cómo ha evolucionado la dinámica de uso de las temáticas a lo largo del tiempo, quiénes son los autores y qué países están más involucrados en las publicaciones científicas, y qué elementos de investigación son más relevantes para las publicaciones y aplicaciones industriales, de modo que se

puedan tener argumentos para identificar oportunidades en la construcción de nuevos modelos de mejoramiento.

La intención de la presente investigación, se logra evidenciar a través del estado del arte, donde se identifican oportunidades de estudio en el desarrollo de nuevo conocimiento, dando origen al objetivo de diseñar una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma que aporte al mejoramiento del desempeño de las PYMEs manufactureras.

Los conceptos teóricos y metodológicos para el desarrollo de la investigación se enmarcan dentro del alcance de la Ingeniería Industrial y las temáticas de estudio, a continuación se referencian algunas como: la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) (Tranfield et al., 2003), (Thomas et al., 2004) (Kitchenham & Charters, 2007), modelamiento de la estructura organizacional (Mintzberg, 1991); ecosistema emprendedor (Yusoff et al., 2016), (Anuar et al., 2020); PYMEs (Ley 590 de 2000, 2000), (Ley 905 de 2004, 2004), (Ley 1450 de 16 Junio 2011, 2014), (Ley 905 de 2004, 2004), (Gran, 2019); ciclo de mejora continua (ISO9000, 2000); arquitectura de los proceso (Arias, 2013); tecnologías de I4.0. (Velásque et al., 2019)(Chinchilla et al., 2020)(Velasco et al., 2020); modelo adopción tecnológica, *Business Process Management Systems* (BPMS) (Rodríguez & Alpuin, 2014); Lean Six Sigma (Matías & Idoipe, 2013) (Felizzola & Luna, 2014) (Hernández & Uscanga, 2015); Norma ISO 17025 (Técnica, 2017), instrumento validador (Chiner et al., 2004).

El desarrollo de la investigación, para dar cumplimiento al objetivo, se argumenta en la construcción de 4 capítulos: **Capítulo 1**, estado del arte, en el cual se utiliza la metodología de (RSL), que permite identificar con base a la literatura analizada una brecha en temas científicos relacionados con LSS, I4.0. y PYMEs. Nota aclaratoria, este capítulo fue parafraseado para la presentación de esta tesis de maestría, debido a que sirvió como material soporte, para la publicación de un artículo científico de revisión, en la revista Criterio Libre edición especial Julio 2022, con el título “LSS E I4.0 EN LAS PYMES MANUFACTURERAS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA” (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Anexo A. Capítulo 2**, se caracterizan los componentes temáticos, que soportan la estructura PYME, el sistema de gestión por procesos con tecnologías I4.0. y los principios Lean Six Sigma, los cuales definirán los elementos del constructo para plantear la metodología integradora. La GP, es una temática que se adiciona en este capítulo, como temática para fortalecer la función de la “Gestión Administrativa”. **Capítulo 3**, se construye una metodología para el mejoramiento del desempeño PYME, estructurada en el ecosistema de la gestión por procesos, tecnologías de la industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma. **Capítulo 4**, se construye un instrumento validador, que permite evaluar el desempeño de la metodología y realizar una retroalimentación para su mejoramiento. Finalmente se presentan las conclusiones.

1. Estado del arte

El objetivo de este capítulo es elaborar el estado del arte, a través de una revisión sistemática de la literatura, de modo que sea posible identificar un vacío en temas científicos relevantes de la literatura científica mundial con respecto a la integración del LSS, la I4.0 y las PYMEs.

El estado del arte, se ha incorporado al trabajo con base a una guía metodológica estructurada en la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), de modo que se pueda explorar la literatura científica publicada, relacionada con los temas de investigación definidos. En la **Figura 1**, se ilustran los pasos para la aplicación de la (RSL) basados en (Tranfield et al., 2003), (Thomas et al., 2004) (Kitchenham & Charters, 2007).

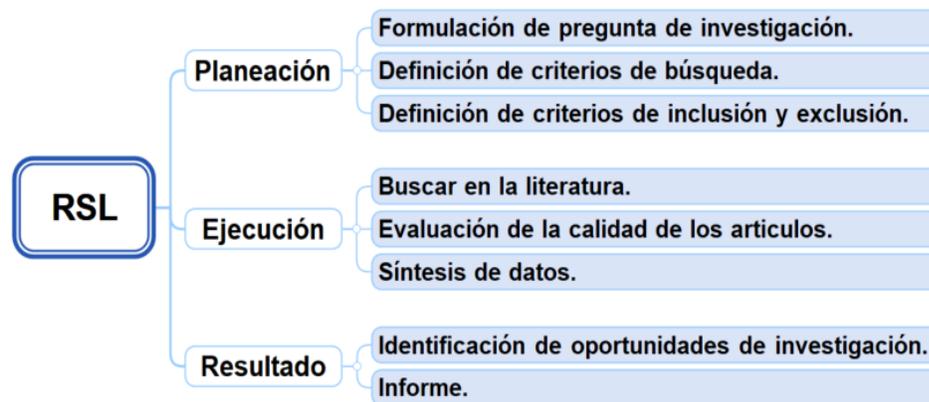


Figura1. RSL

Fuente: elaboración propia, basado (Tranfield et al., 2003), (Kitchenham & Charters, 2007) (Castañeda & Correa, 2022).

1.1 Planeación

1.1.1 Preguntas de investigación

Asumiendo que las PYMES representan más del 90% de las redes empresariales del mundo, y aportan más de la mitad de los puestos de trabajo en las actividades industriales (Valdés & Sánchez, 2012), existe un reto especialmente para las PYMEs, ya que estas requieren de importantes inversiones en tecnología, tecnificación y conocimiento profesional, para aumentar la competitividad y permanencia en el mercado, para mayor información consultar (Agostini & Nosella, 2019).

Se plantea explorar el material científico publicado entre el año 2005 y el año 2020, orientando el estudio de esta investigación a determinar la participación de las metodologías LSS y la Industrial 4.0, en el mejoramiento del desempeño de las PYMEs.

Formulación de preguntas de investigación:

1. ¿Existen metodologías en la comunidad científica que integren las temáticas LSS, I4.0 y PYMEs?
2. ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en PYMEs con relación a la temática LSS entre los años 2005 y 2020?
3. ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en PYMEs con relación a la temática I4.0 entre los años 2005 y 2020?
4. ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en LSS con relación a la temática I4.0 entre los años 2005 y 2020?
5. ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre LSS en relación con las PYMEs?
6. ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre PYMEs en relación con la I4.0?
7. ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre LSS en relación con la I4.0?
8. ¿Cuáles factores de estudio relacionados con las temáticas PYMEs, LSS e I4.0 se identifican en los artículos pertinentes para la investigación?
9. ¿Cuáles son los atributos de mayor interés por la comunidad científica tomando como base los factores de estudio de las temáticas y artículos científicos?
10. ¿Qué oportunidades de investigación futuras se identifican, a la luz de las temáticas PYMEs, LSS e I4.0?

Criterios de búsqueda

Se indaga en bases de datos especializadas en escritura científica como: recursos electrónicos UNAL, *Google Académico*, *Taylor and Francis*, *Springer Journals*, *Web of Science*, *Science Direct*, *IEEE Xplore*, *SCI-hub.tw*, *Mendeley*, *Proquest*, *Emerald*, *Scopus*, *Jstor*, entre los años 2005 al 2020.

Se realiza un estudio previo basado en las ecuaciones de búsqueda descritas a continuación:

All (Lean Manufacturing) and All (Six Sigma)-----	(800 Resultados)
All (Lean Manufacturing) and All (PYMEs)-----	(329 Resultados)
All (Six Sigma) and All (PYMEs)-----	(175 Resultados)
All (PYMEs) and All (Waste)-----	(305 Resultados)
All (Six Sigma) and All (Waste)-----	(508 Resultados)
All (Lean Manufacturing) and All (Waste)-----	(1.722 Resultados)
All (LSS)-----	(2.170 Resultados)

Como resultado del estudio previo, se derivan las ecuaciones que se utilizan como base para el estudio:

All (LSS) and All (I4.0) and All (PYMEs)-----	(1 Resultado)
All (LSS) and All (PYMEs)-----	(97 Resultados)
All (LSS) and All (I4.0)-----	(31 Resultados)
All (I4.0) and All (PYMEs)-----	(383 Resultados)

Se consolidan 512 artículos científicos que tienen relación con las temáticas de estudio definidas.

2.1.1 Criterios definidos

Con base a los 512 artículos que tienen relación con la investigación y siguiendo con la guía de las metodologías (RSL), se determinan los criterios de inclusión y extensión, los cuales se describen a continuación.

Criterios de inclusión:

- Material bibliográfico, que aborda los conceptos de LSS, I4.0 en las PYMEs.
- Material bibliográfico, que relaciona herramientas de LSS e I4.0 en la implementación de las PYMEs.
- Artículos publicados entre el 2005 y 2020 en idioma inglés.
- Material que proporcione evidencias metodológicas de los temas LSS, I4.0 y PYMEs.
- Material que relacione metodologías integradoras entre LSS, I4.0 y PYMEs.

Criterios de exclusión:

- Material bibliográfico duplicado.
- Material bibliográfico que no relacione en su título con los siguientes temas LSS, I4.0, PYMEs.
- Material bibliográfico que en su resumen y palabras claves no tenga relación entre LSS - I4.0, LSS - PYMEs o PYMEs – I4.0.

1.2 Ejecución

1.2.1 Búsqueda en la literatura

Como resultado de la búsqueda en las bases de datos especializadas en escritura científica, se recopilan 512 artículos científicos, derivados de las ecuaciones de búsqueda y que proporcionan argumentos para resolver las preguntas de investigación.

1.2.2 Evaluación de los artículos

Para comenzar la aplicación de factores de calidad a su selección, se consolidan los 512 artículo, de modo que inicialmente se eliminen los artículos duplicados y aquellos que no cumplieran con los criterios requeridos para ser incluidos en el estudio. Luego se agrupan los artículos que contribuyen a la investigación y cumplan con los criterios de inclusión. En el diagrama de flujo de la **Figura 2**, se puede observar el filtro de los artículos, en el cual se seleccionaron 105 artículos para su análisis particular.

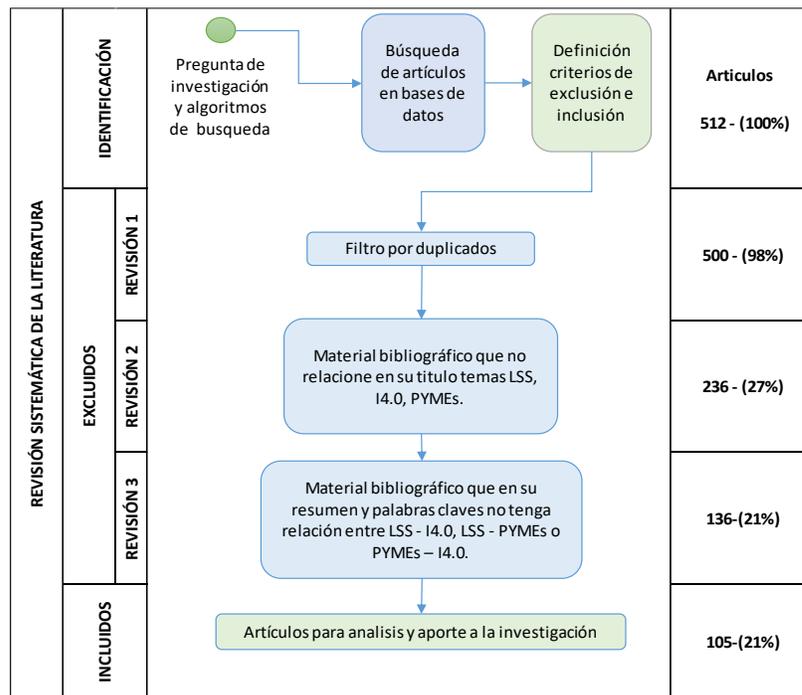


Figura 2. Decantación del material científico (Moher et al., 2014).

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Al determinar los resultados de la búsqueda según las ecuaciones dadas, se identifican 512 artículos, los cuales se analizan, en función de la aplicabilidad con las temáticas de estudio y se logran identificar 105 artículos, que aplican según se evidencia en la **Tabla 1**. Lo primero que se identifica es una limitada participación de artículos sobre integración de LSS, I4.0 y PYMEs (1 artículo), 100% aplicable al estudio; LSS y PYMES (91 artículos), 63% aplicable al estudio; LSS e I4.0 (31 artículos), 42% aplicables al estudio. Finalmente, I4.0 y PYMEs (383 artículos), 8% aplicables al estudio.

Tabla 1. Material científico aplicable a la investigación

Ecuaciones de búsqueda	Encontrados	Aplicables	%
<i>All (LSS) and All (I4.0) and All (PYMEs)</i>	1	1	100%
<i>All (LSS) and All (PYMEs)</i>	97	61	63%
<i>All (LSS) and All (I4.0)</i>	31	13	42%
<i>All (I4.0) and All (PYMEs)</i>	383	30	8%
Total	512	105	21%

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Para evidenciar la participación de cada temática tomando como base los 105 artículos seleccionados, se construye la **Figura 3**, la cual representa que el 58% tiene relación con LSS-PYMEs, el 29% con I4.0- PYMEs, el LSS-I4.0 con el 12% y finalmente, el PYMEs-LSS-I4.0 con 1%. Se puede inferir que realizar una investigación en relación a estos tres factores hará un aporte significativo.

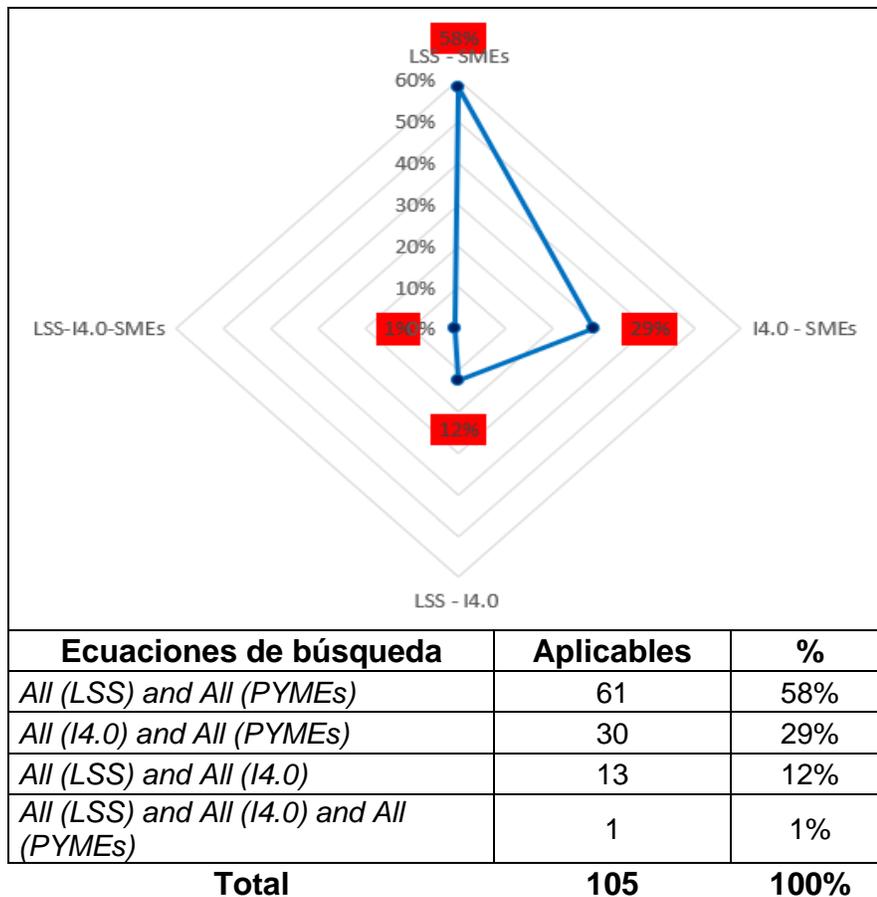


Figura 3. Participación de las temáticas de estudio.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

En la **Tabla 1** y **Figura 3**, se da respuesta a la siguiente pregunta:

- ¿Existen metodologías en la comunidad científica que integren las temáticas LSS, I4.0 y PYMEs?

Las metodologías que combinan estos tres factores no se identifican, solo hay un artículo científico con tres elementos en sus palabras claves, pero cuando se revisó

lo relacionado con LSS, solo tiene una herramienta llamada “*mapeo de flujo de valor*” en lugar de un enfoque integrado (Huang et al., 2019).

Iniciar una investigación relacionada con la integración de LSS, I4.0, PYMEs, es de mucha importancia, como se evidencia en la **Tabla 1**, ya que tiene pocos antecedentes, por lo cual, se da una guía para el desarrollo de la investigación agrupando las temáticas por parejas así: LSS-PYMEs, I4.0- PYMEs, LSS-I4.0; con el fin de llegar a consolidar una base, para construir una metodología fundamentada en la integración de los tres componentes temáticos.

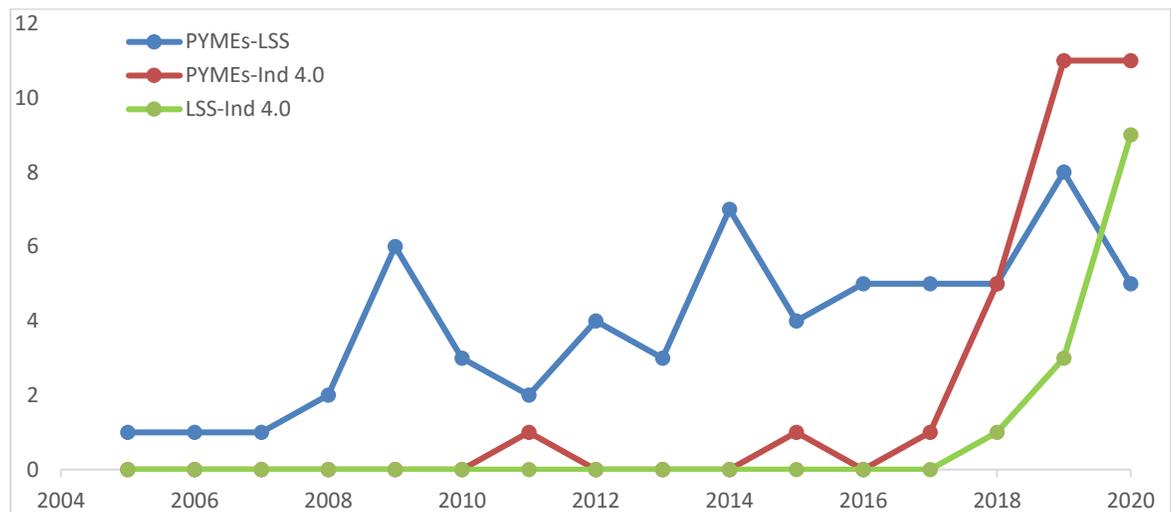


Figura 4. Publicaciones de las metodologías PYMEs-LSS-I4.0.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Figura 4**, se da respuesta a las siguientes tres preguntas de investigación:

- ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en PYMEs con relación a la temática LSS entre los años 2005 y 2020?
- ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en PYMEs con relación a la temática I4.0 entre los años 2005 y 2020?
- ¿Cómo han evolucionado las publicaciones científicas en LSS con relación a la temática I4.0 entre los años 2005 y 2020?

Se define un alcance para la investigación, relacionado con el material científico publicado desde el año 2005 al año 2020, en la **Figura 4**, se puede evidenciar, como las publicaciones crecen en el transcurso del tiempo. También, se evidencia que la agrupación PYMEs-LSS, desde el año 2005, presenta una línea creciente en función del tiempo en sus publicaciones; la agrupación PYMEs-I4.0, presenta publicaciones desde el año 2011, con un crecimiento marcado desde el año 2017;

la agrupación LSS-I4.0 presenta publicaciones con una tendencia muy alta a partir del año 2018 (Castañeda & Correa, 2022).

Se indaga como criterio de revisión de los artículos, cuáles son los autores que más han aportado en la publicación de artículos y que países son los que han participado activamente en el estudio de las temáticas, material que es relevante para la caracterización e identificación de futuras investigaciones relacionadas con los temas de interés. Es así como se evidencian estos elementos a través del software VOSviewer (Castañeda & Correa, 2022).

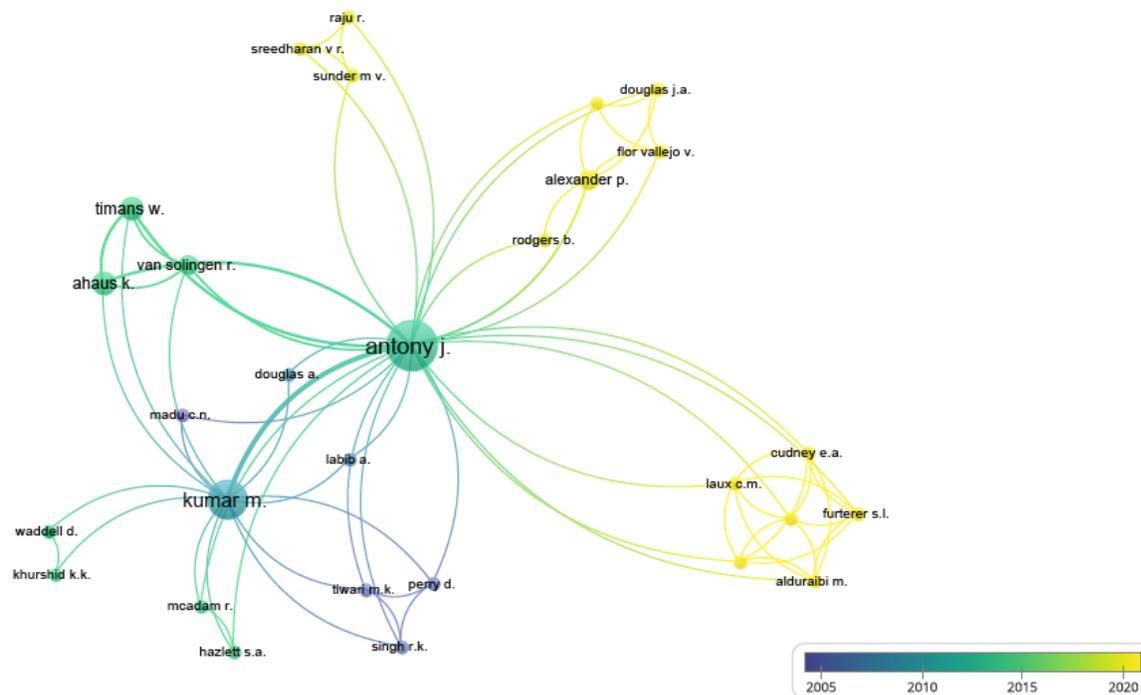


Figura 5. LSS-PYMEs por Autores. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

En la **Figura 5**, el autor que más citan sobre LSS-PYMEs, es Jiju Antony, que nace en India y se desempeña como profesor de gestión de calidad, de la Universidad Heriot Watt del Reino Unido; seguido por Maneesh Kumar, profesor en Cardiff Business School y Universidad de Cardiff del Reino Unido (Castañeda & Correa, 2022).

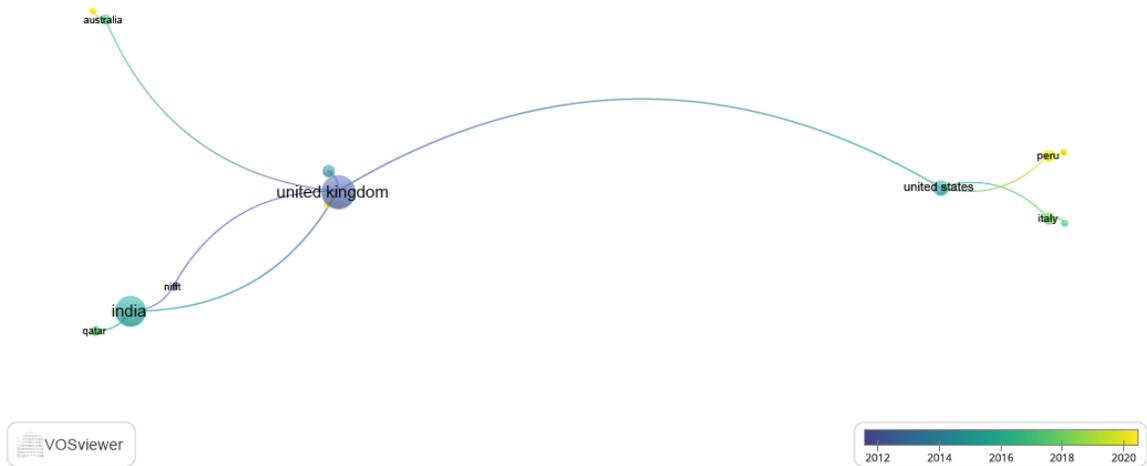


Figura 6. LSS-PYMEs por Países. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Geográficamente, los países que más publican en las temáticas LSS-PYMEs son: primero, el Reino Unido; segundo, India, Estados Unidos y Australia, se identifican algunas publicaciones en Perú en los últimos años (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Figura 6**.

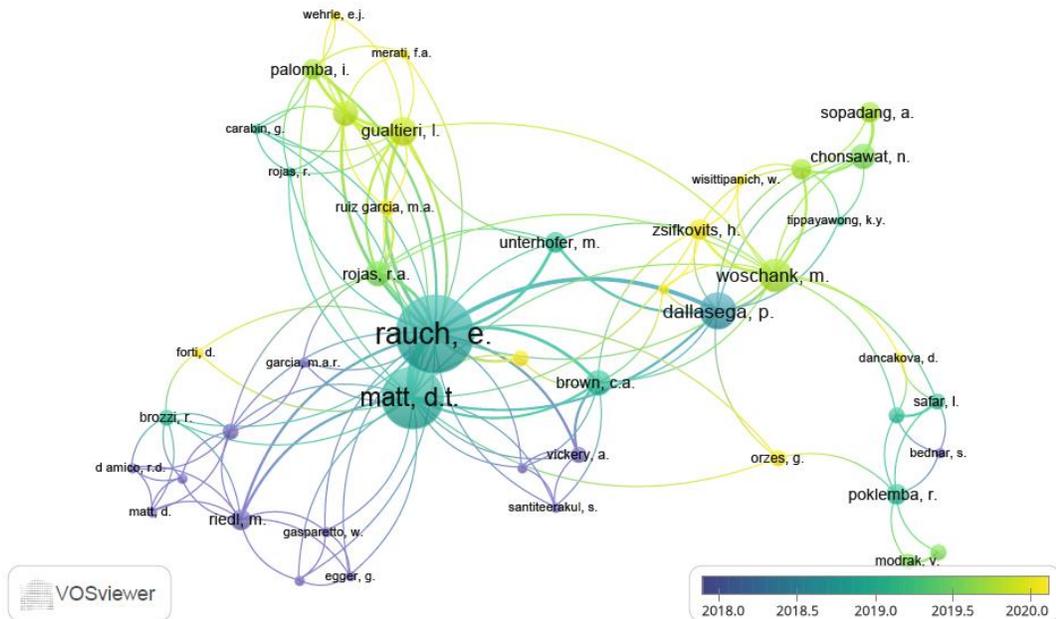


Figura 7. PYMEs-I4.0 Autores. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

En las temáticas PYMEs-I4.0, se evidencia que el autor más citado es Erwin Rauch, nacido en Italia y se desempeña como profesor de Tecnología y Sistemas de Fabricación en la Universidad Libre de Bolzano en Italia; seguido por Dominik T. Matt, catedrático de Ingeniería de fabricación de la Universidad Libre de Bolzano en Italia (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Figura 7**.

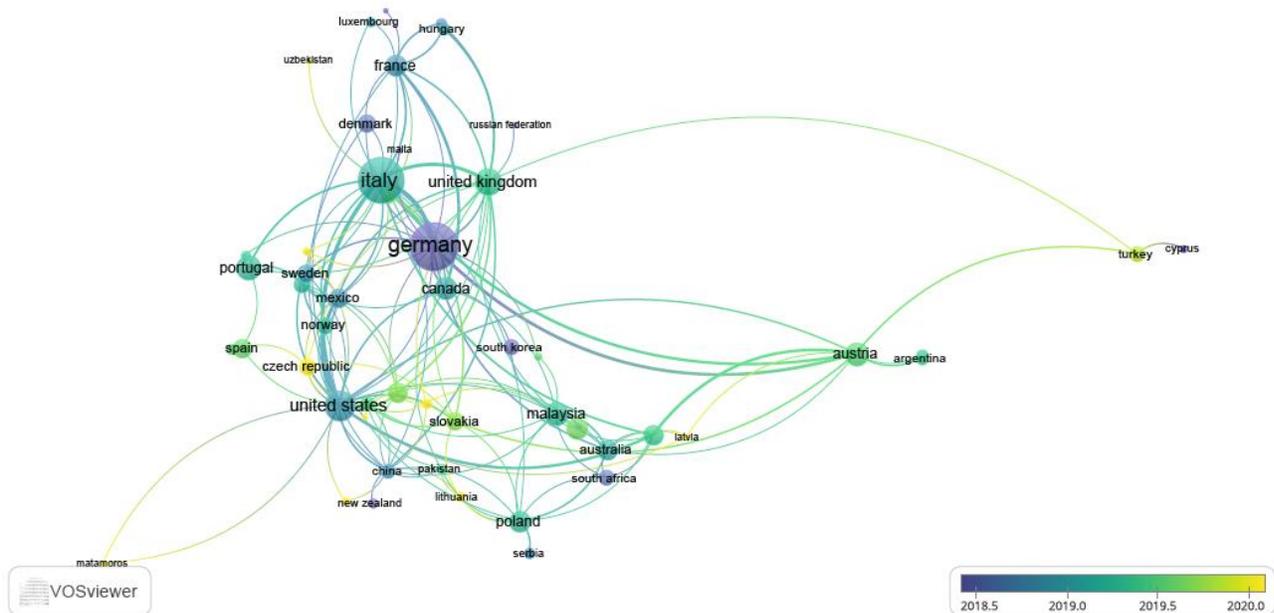


Figura 8. PYMEs-I4.0 Países. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Los países que más han aportado publicaciones a las temáticas PYMEs-I4.0, en primer lugar, Alemania, seguido por Italia, Reino Unido y Estados Unidos (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Figura 8**.

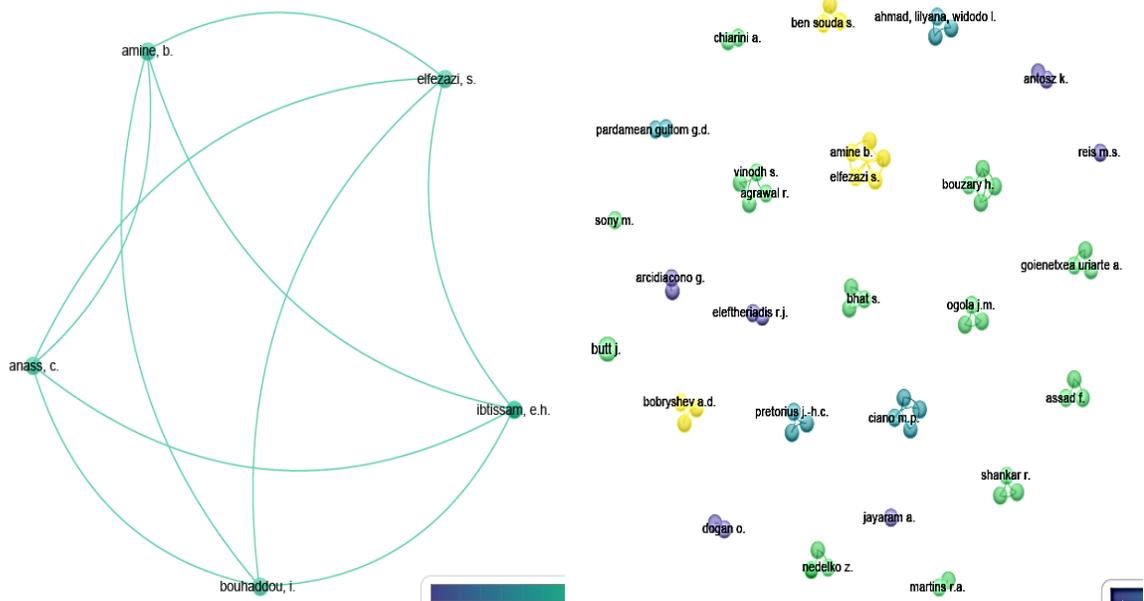


Figura 9. LSS-I4.0 Autores. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

En las temáticas LSS-I4.0, no se identificaron autores relevantes, representando por un bajo número de artículos publicados (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Figura 9**.



Figura 10. LSS-I4.0 Países. Scopus.

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Se observa que los países que han desarrollado publicaciones sobre LSS-I4.0 son: Reino Unido, India e Italia (Castañeda & Correa, 2022). Ver **Figura 10**.

En la **Tabla 2**, se da respuesta a las siguientes tres preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre LSS en relación con las PYMEs?
- ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre PYMEs en relación con la Industria 4.0?
- ¿Cuáles son los autores y en qué países son los que más han investigado en el mundo sobre LSS en relación con la Industria 4.0?

Según lo consolidado en la **Tabla 2**, se identifica que en las temáticas LSS-PYMEs y I4.0-PYMEs los autores representativos son Jiju Antony - Maneesh Kumar y Erwin Rauch - Dominik T. Matt; en relación con LSS-I4.0 son pocos artículos publicados, sin un autor representativo. Los países que más aportan a la investigación son: Reino Unido, India, Italia, Estados Unidos y Alemania (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 2. Temáticas, autores y países

Temáticas	Autores Representativos	Países con Mayor Aporte a la Investigación
LSS - PYMEs	Jiju Antony - Maneesh Kumar	Reino Unido - India - Estados Unidos y Australia
I4.0 - PYMEs	Erwin Rauch - Dominik T. Matt	Alemania, Italia, Reino Unido y Estados Unidos
LSS - I4.0	Aun no hay un autor representativo.	Reino Unido, India e Italia.
LSS-I4.0- PYMEs	N.A	N.A

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

1.2.3 Síntesis de datos

Luego de analizar los artículos, en función de las temáticas (PYMEs-LSS-I4.0), se llega a las siguientes proporciones, el **56%** de los autores publican sobre las **PYMEs**, el **26%** publican en relación a **LSS** y el **18%** en relación con la **I4.0**, Ver **Tablas 4, 5 y 6**. Para el análisis de estas tablas se toman los criterios de la **Tabla 3**.

Tabla 3. Criterio de calificación de los factores de estudio

Rango	Criterio Calificación
(> 6 %)	Mayor Participación
(>2 <5 %)	Intermedia Participación
(=1%)	Poca Participación

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

Las **Tablas 4, 5 y 6**, responde la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Cuáles factores de estudio relacionados con las temáticas PYMEs, LSS e I4.0 se identifican en los artículos pertinentes para la investigación?

Derivado del análisis de los artículos, se clasifican los factores de estudio presentados en las **Tablas 4, 5 y 6**, con sus respectivos autores.

Tabla 4. Factores de estudio, autores, temática – PYMEs (56%)

Factores de Estudio	Autor - Año	%
Encuestas	(M. Kumar & Antony, 2008), (M. Kumar et al., 2009), (A. Thomas et al., 2009), (Alsmadi & Khan, 2010), (Timans et al., 2012), (Grudowski et al., 2014), (Shah & Shrivastava, 2013), (M. Kumar et al., 2014), (McAdam et al., 2014), (A. J. Thomas et al., 2014), (Grudowski et al., 2015), (Iyede et al., 2018), (Ahmad et al., 2019), (Moya et al., 2019), (Ramkumar et al., 2019), (Ramkumar & Satish, 2020), (Müller & Voigt, 2018), (Pagliosa et al., 2019), (Sahi et al., 2020), (Garbellano & Da Veiga, 2019), (Adu-Amankwa et al., 2019), (Agostini & Nosella, 2019), (Türkeş et al., 2019), (Masood & Sonntag, 2020), (Dutta et al., 2020), (Yadav et al., 2020), (Michna & Kmiecik, 2020)	23%
Factores críticos de éxito	(Antony et al., 2005), (M. Kumar & Antony, 2008), (Antony et al., 2008), (M. Kumar & Antony, 2009), (M. Kumar et al., 2009), (Jayaraman et al., 2012), (Timans et al., 2012), (Felizzola Jiménez & Luna Amaya, 2014), (Raghunath & Jayathirtha, 2014), (Albliwi et al., 2014), (Shokri et al., 2016), (Alhuraish et al., 2017), (Sreedharan et al., 2018), (Ahmad et al., 2019), (Ramkumar et al., 2019), (Flor Vallejo et al., 2020), (Moeuf et al., 2018), (Huang et al., 2019), (Bhat et al., 2020), (R & Vinodh, 2020), (Park et al., 2020), (Khanzode et al., 2021), (Sriram & Vinodh, 2020)	18%
Programas de calidad	(Antony et al., 2005), (Antony et al., 2008), (Shokri et al., 2016), (A. J. Thomas et al., 2014), (M. Kumar et al., 2006), (McAdam et al., 2014), (Sreedharan et al., 2018), (da Fonseca, 2017), (Rishi et al., 2018), (Ramkumar et al., 2019), (Yadav et al., 2020), (Bhat et al., 2020), (Park et al., 2020)	11%
Organigrama	(Antony et al., 2005), (Antony et al., 2008), (Jayaraman et al., 2012), (Shokri et al., 2016), (Garbellano & Da Veiga, 2019), (Moeuf et al., 2020), (Moeuf et al., 2018), (Chiarini & Kumar, 2020), (R & Vinodh, 2020)	7%
ISO 9000	(M. Kumar & Antony, 2008), (M. Kumar & Antony, 2009), (M. Kumar et al., 2009), (M. Kumar & Antony, 2009), (Timans et al., 2012), (M. Kumar et al., 2014), (da Fonseca, 2017)	5%

Competitividad e Innovación	(A. J. Thomas et al., 2014), (Müller et al., 2018), (Garbellano & Da Veiga, 2019), (Huang et al., 2019), (Zambon, Egidi, et al., 2019), (Chen, 2020)	5%
ERP	(A. Thomas et al., 2009), (Jha & Saini, 2011), (Timans et al., 2012), (Moeuf et al., 2018), (Chiarini & Kumar, 2020)	5%
Uso de Software SPSS 18 Windows	(Shah & Shrivastava, 2013), (M. Kumar et al., 2014), (Ahmad et al., 2019), (Ramkumar & Satish, 2020), (Bhat et al., 2020)	4%
Gestión de la cadena de suministros	(Mehrerdi, 2013), (Ramirez-Peña et al., 2020), (Zambon, Cecchini, et al., 2019), (Chen, 2020)	3%
Entrevista	(Garbellano & Da Veiga, 2019), (Chiarini & Kumar, 2020)	2%
Mejora operacional	(Moeuf et al., 2018), (Sahi et al., 2020)	2%
Estándar proceso actual	(Mittal et al., 2018), (Fantoni et al., 2020)	2%
Toma de decisiones multicriterio	(Sevinç et al., 2018), (Uriarte et al., 2018)	2%
LSS gran empresa	(Raghunath & Jayathirtha, 2014)	1%
Capacidad dinámica	(Garbellano & Da Veiga, 2019)	1%
Agricultura	(Zambon, Cecchini, et al., 2019)	1%
Mantenimiento predictivo	(Adu-Amankwa et al., 2019)	1%
Networking	(Zambon, Egidi, et al., 2019)	1%
Efecto de los recursos financieros invertidos en tecnología	(Agostini & Nosella, 2019)	1%
Evaluación de proporcionalidad compleja	(Sriram & Vinodh, 2020)	1%
Sistema modular con base a metamodelo	(Dassisti et al., 2019)	1%
Hojas de Ruta	(Mittal et al., 2018)	1%
Sistema Polivalente	(Uriarte et al., 2018)	1%
Panel de expertos	(Moeuf et al., 2018)	1%
Ábaco de Regnier	(Moeuf et al., 2020)	1%
Capacitación y formación	(Moeuf et al., 2020)	1%
Control de la producción	(Moeuf et al., 2018)	1%
Sociotécnica	(Cimini et al., 2020)	1%
Implicaciones de adoptar I4.0	(Cimini et al., 2020)	1%
Modelo adopción tecnología	(Prause, 2019)	1%

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 4**, consolida los factores con mayor presencia en las PYMEs como: encuestas, identificación de factores críticos de éxito, programas de calidad, organigrama. También se puede evidenciar temas de participación intermedia como: ISO 9000, competitividad e innovación, ERP, Uso de *Software SPSS 18 Windows*, gestión de la cadena de suministros, entrevistas, mejora operacional, entre otras. Con participación intermedia están: el LSS en la gran empresa,

capacidad dinámica, agricultura, mantenimiento predictivo, *networking*, entre otros (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 5. Factores de estudio, autores, temática - LSS (26%)

Factores de Estudio	Autor - Año	%
Aplicaciones estadísticas	(Antony et al., 2005), (Timans et al., 2012), (Shah & Shrivastava, 2013), (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014), (Shokri et al., 2016), (Shokri et al., 2016), (da Fonseca, 2017), (Ahmad et al., 2019), (Shokri et al., 2016), (Ramkumar & Satish, 2020), (Ali et al., 2020), (Müller & Voigt, 2018), (M. Kumar et al., 2006), (Yadav et al., 2020), (Park et al., 2020), (Michna & Kmiecik, 2020)	26%
DMAIC	(M. Kumar et al., 2006), (A. Thomas & Lewis, 2007), (Gnanaraj et al., 2012), (Dora & Gellynck, 2015), (Shokri et al., 2016), (Alshammari et al., 2018), (Ramkumar et al., 2019), (Titmarsh et al., 2020), (Bhat et al., 2020), (R & Vinodh, 2020)	16%
KPI's – OEE	(Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014), (da Fonseca, 2017), (Rishi et al., 2018), (Moya et al., 2019), (Huang et al., 2019)	8%
TQM	(A. Thomas & Lewis, 2007), (Antony et al., 2008), (Antony et al., 2008), (Alsmadi & Khan, 2010), (Sreedharan et al., 2018)	8%
VSM (Mapa de flujo de valor)	(M. Kumar et al., 2006), (Bazan-Rios et al., 2019), (Pagliosa et al., 2019), (Huang et al., 2019)	6%
TPM	(M. Kumar et al., 2006), (A. Thomas & Lewis, 2007), (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)	5%
Cartas de control	(M. Kumar et al., 2006), (Jayaraman et al., 2012), (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)	5%
5S	(da Fonseca, 2017), (Alshammari et al., 2018), (Rishi et al., 2018)	5%
Espina de pescado	(M. Kumar et al., 2006), (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)	3%
7 desperdicios	(Shokri et al., 2016), (Ramkumar et al., 2019)	3%
DOE	(A. Thomas & Lewis, 2007), (Bhat et al., 2020)	3%
Pareto	(M. Kumar et al., 2006), (Albliwi et al., 2014)	3%
Kaizen	(da Fonseca, 2017), (Vinodh et al., 2020)	3%
Estandarización trabajo	(Nunes, 2015), (Fantoni et al., 2020)	3%
TOC	(Bazan-Rios et al., 2019)	2%

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 5**, presenta que del LSS, la mayor participación está en: aplicación de herramientas estadísticas, metodología Definir Medir Analizar Implementar y Controlar (DMAIC), indicadores críticos del proceso (KPIs), eficiencia global del

equipo (OEE), gestión de la calidad total (TQM), entre otras. Con participación intermedia se tienen los siguientes factores: mantenimiento productivo total (TPM), cartas de control, 5S, espina de pescado, 7 desperdicios, diseño de experimentos (DOE), Pareto, entre otras. Y con poca participación esta la teoría de restricciones (TOC) (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 6. Factores de estudio, autores, temática - I4.0(18%)

Factores de Estudio	Autor - Año	%
Internet de las cosas	(Sommer, 2015), (Moeuf et al., 2018), (Mittal et al., 2018), (Müller & Voigt, 2018), (Müller et al., 2018), (Tortorella et al., 2019), (Li et al., 2019), (Yıldızbaşı & Ünlü, 2020), (Yadav et al., 2020)	21%
Digitalización	(Sommer, 2015), (Müller et al., 2018), (Huang et al., 2019), (Zambon, Egidi, et al., 2019)	12%
Sistemas Ciber físicos	(Pagliosa et al., 2019), (Huang et al., 2019), (Yıldızbaşı & Ünlü, 2020), (Sony, 2020), (Chen, 2020)	9%
Automatización	(Sommer, 2015), (Tortorella et al., 2019), (Zambon, Egidi, et al., 2019), (Amjad et al., 2020)	9%
Smart Manufacturing	(Mittal et al., 2018), (Ramirez-Peña et al., 2020), (Park et al., 2020)	7%
Big Data	(Yıldızbaşı & Ünlü, 2020), (Park et al., 2020), (Amjad et al., 2020)	7%
RFID	(Mehrerdi, 2013), (Huang et al., 2019), (Fantoni et al., 2020)	7%
Robótica	(Shokri et al., 2016), (Shokri, 2019), (Yadav et al., 2020)	7%
Simulación	(Uriarte et al., 2018), (Bhat et al., 2020)	5%
Ciber seguridad	(Türkeş et al., 2019), (Shahin et al., 2020)	5%
Inteligencia artificial	(Yadav et al., 2020), (Park et al., 2020)	5%
Sincronización de procesos autónomos	(Chiarini & Kumar, 2020)	2%
Computación en la nube	(Yadav et al., 2020)	2%
Proceso de red analítica	(Sevinç et al., 2018)	2%
Realidad aumentada	No se identifica en los artículos	0%
Manufactura aditiva	No se identifica en los artículos	0%

Integridad horizontal y vertical del sistema	No se identifica en los artículos	0%
--	-----------------------------------	----

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 6**, consolida lo relacionado a la I4.0, donde se encuentran factores con mayor participación como: internet de las cosas, digitalización, sistemas ciber físicos, automatización, *Smart Manufacturing*, entre otras. Con participación intermedia están: simulación, ciber seguridad, inteligencia artificial, entre otros (Castañeda & Correa, 2022).

Para completar la construcción, se analizan dos aspectos; uno, es el Objetivo de la metodología (**Tabla 7**); y el otro, es el Tipo de estudio realizado (**Tabla 8**); como aportes de valor que ayudan al contexto a las temáticas estudiadas.

Tabla 7. Objetivo de la metodología

Factores de Estudio	Autor – Año
Ahorro en costos de producción	(Jayaraman et al., 2012), (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014), (Dora & Gellynck, 2015), (Ramkumar & Satish, 2020), (Bazan-Rios et al., 2019), (Dassisti et al., 2019), (Adu-Amankwa et al., 2019)
Creación de valor sostenible	(Müller & Voigt, 2018), (Müller et al., 2018), (Ramirez-Peña et al., 2020), (Titmarsh et al., 2020), (Khanzode et al., 2021), (R. Kumar et al., 2020)
Incremento de la productividad	(Jayaraman et al., 2012), (Ramkumar et al., 2019), (Bazan-Rios et al., 2019), (Ramkumar & Satish, 2020), (Uriarte et al., 2018), (Huang et al., 2019)
Sostenibilidad Ambiental	(Ali et al., 2020), (Zambon, Egidi, et al., 2019), (Titmarsh et al., 2020)
Rendimiento Operativo	(Tortorella et al., 2019), (Ramirez-Peña et al., 2020)
Disminución de tiempos muertos	(Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)
Reducir variabilidad del proceso	(Shokri et al., 2016), (Shokri, 2019)
Disminución del desperdicio	(Bazan-Rios et al., 2019)
Estandarización del proceso	(Mittal et al., 2018)
Implementación de I4.0	(Mittal et al., 2018)
Cultura organizacional	(Shokri et al., 2016)
Intercambio de Información	(Li et al., 2019)

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 7**, muestra que los objetivos con mayor participación son: el ahorro en costos de producción, creación de valor sostenible, incrementar la productividad, entre otras (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 8. Tipo de estudio

Factores de Estudio	Autor – Año
Revisión de la literatura	(Pepper & Spedding, 2010), (Albliwi et al., 2014), (da Silva et al., 2018), (Alexander et al., 2019), (Sreedharan V et al., 2019), (Flor Vallejo et al., 2020), (Sodhi et al., 2020), (Pagliosa et al., 2019), (Yıldızbaşı & Ünlü, 2020), (Dutta et al., 2020), (Chiarini & Kumar, 2020), (Sony, 2020), (Vinodh et al., 2020), (Amjad et al., 2020)
Descriptivo (Cualitativo y Cuantitativo)	(Albliwi et al., 2014), (Albliwi et al., 2014), (Iyede et al., 2018), (Ahmad et al., 2019)
Exploratorio	(Prashar, 2018), (Garbellano & Da Veiga, 2019)

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 8**, que registra el tipo de estudio, se destaca con una mayor participación, la revisión de la literatura (Castañeda & Correa, 2022).

Al analizar los 105 artículos, que tienen relación con las temáticas en estudio, se logra consolidar, un inventario teórico de conceptos, para iniciar la construcción taxonómica de la literatura de acuerdo con los criterios (Reisman, 2004). Además, según Eguren y Castán, de la naturaleza exploratoria de la literatura y de los modelos existentes se puede generar una métrica descriptiva para su categorización y definición que posibilite la construcción de futuras metodologías (Eguren & Castán, 2016).

Según Gattoufi y otros, el análisis taxonómico se debe especificar en ramificaciones, derivando niveles que incrementen su descripción, teniendo presentes criterios de **exhaustividad**, que muestra el espectro completo de investigación elegida para la categorización; **parsimonia**, que indica que no se debe incluir categorías innecesarias; y **utilidad**, que representa un criterio que agrega valor; son elementos referentes, con la finalidad de tener el escenario de oportunidades metodológicas de las temáticas PYMEs, LSS, e I4.0.

Se ha identificado durante la investigación, que las temáticas son representativas cuando se abordan de esta manera: (LSS-PYMEs, LSS-I4.0, PYMEs-I4.0) y la intervención en simultaneo: (LSS-PYMEs-I4.0), es aún poco inexplorado; a través de estos criterios se deriva, el desarrollo taxonómico, con la intención de

caracterizar y ponderar estos elementos, hasta consolidar los criterios claves para futuras investigaciones dentro del sector empresarial.

La ***exhaustividad***, este criterio permite realizar un examen sistemático exhaustivo, demostrando que se han tenido en cuenta todos los estudios previos, de modo que se tenga presente la reducción del desperdicio en investigaciones innecesarias, desperdicio en recursos e investigaciones erradas o mal enfocadas que pueden generar perjuicio a la comunidad científica, este criterio es indispensable aplicarlo previo al desarrollo de nuevas investigaciones (Richards et al., 2018).

También es indispensable determinar el espectro de investigación elegida para la caracterización de los componentes estudiados, con el fin de identificar oportunidades de investigación futuras. Es por esta razón que se toman como fuente para responder a esta perspectiva, los factores de estudio identificados en las **Tablas 4, 5 y 6**, como también los factores de las **Tablas 7 y 8** (Castañeda & Correa, 2022).

La ***parsimonia***, este criterio orienta, que no se deben incluir categorías innecesarias, teniendo como base los factores de estudio, se fueron derivando sus categorías según los criterios de valor afines a la estructura administrativa y el mejoramiento del desempeño de las PYMEs (Mercader & Santos, 1999).

Es por esta razón que se definen tres categorías, tomando como fuente los factores de estudio identificados en los 105 artículos aplicables a la investigación (Castañeda & Correa, 2022).

De la consolidación de los 73 factores de estudio, identificados en los artículos aplicables a la investigación, evidenciados en las **Tablas 4, 5, 6, 7, 8**, se definen las siguientes categorías: **categoría 1:** Métodos y Herramientas, **categoría 2:** Subprocesos Relevantes, **categoría 3:** Procesos de Valor. En estas categorías se ponderan los factores hasta identificar tendencias dentro de los criterios empresariales para futuras investigaciones. Los porcentajes de las categorías son calculados partiendo de la base del total de los factores de estudio, hasta ir decantando por categorías; por ejemplo, el 25% correspondiente a la Metodología aplicada al proceso, corresponde a 18 factores de estudio, de los 73 en total y así, de esta forma se van ponderando todas las categorías, hasta llegar a la categoría de Procesos de Valor. Ver **Tablas 9, 10 y 11** (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 9. Taxonomía Gestión

Factores de Estudio	Métodos y Herramientas	Subprocesos Relevantes	Procesos de Valor
ERP		(52%) Proceso	

Gestión de la cadena de suministros	(25%) Metodología aplicada al proceso		
Toma de decisiones multicriterio			
LSS gran empresa			
<i>Networking</i>			
Evaluación de proporcionalidad compleja			
Hojas de Ruta			
Sistema Polivalente			
Control de la producción			
Implicaciones de adoptar I4.0			
Modelo adopción tecnología			
KPI's - OEE			
TPM			
5S			
TOC			
<i>Smart Manufacturing</i>			
Manufactura aditiva			
Implementación de I4.0			
Estándar proceso actual	(27%) Herramienta aplicada al proceso		(64%) Gestión
Capacidad dinámica			
Mantenimiento predictivo			
VSM (Mapa de flujo de valor)			
Estandarización trabajo			
Internet de las cosas			
Digitalización			
Sistemas Ciber físicos			
Automatización			
Big Data			
RFID			
Robótica			
Simulación			
Ciber seguridad			
Inteligencia artificial			
Computación en la nube			
Proceso de red analítica			
Realidad aumentada			
Integridad horizontal y vertical del sistema			
Estandarización del proceso	(5%) Metodología aplicada a la calidad	(12%) Calidad	
Programas de calidad			
ISO 9000			
DMAIC			
TQM			
Kaizen			
Aplicaciones estadísticas			

Cartas de control	(7%) Herramienta aplicada a la calidad		
Espina de pez			
DOE			
Pareto			

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 9**, clasifica taxonómicamente los factores de estudio, en las categorías definidas, se logra consolidar el atributo de Gestión, el cual representa el 64% de los factores estudiados, de modo que representa el mayor componente de interacción con la dinámica empresarial (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 10. Taxonomía Estructura

Factores de Estudio	Métodos y Herramientas	Subprocesos Relevantes	Procesos de Valor
7 desperdicios	(16%) Objetivo Metodología	(16%) Variable estructural	(24%) Estructura
Sincronización de procesos autónomos			
Ahorro en costos de producción			
Rendimiento Operativo			
Disminución de tiempos muertos			
Factores críticos de éxito			
Organigrama			
Capacitación y formación			
Sociotécnica			
Cultura organizacional			
Intercambio de Información	(7%) Condiciones emergentes internas	(8%) Condiciones emergentes	
Mejora operacional			
Efecto de los recursos financieros invertidos en tecnología			
Creación de valor sostenible			
Incremento de la productividad			
Sostenibilidad Ambiental	(1%) Condiciones emergentes externas		
Competitividad e Innovación			

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 10**, según la construcción taxonómico, se identifica que el atributo de Estructura, representa el 24% de los factores de estudio, por lo cual se hace interesante, indagar sobre futuras investigaciones que ayuden a entender y construir nuevo conocimiento en el desarrollo y mejoramiento de la estructura empresarial (Castañeda & Correa, 2022).

Tabla 11. Taxonomía Investigación

Factores de Estudio	Métodos y Herramientas	Subprocesos Relevantes	Procesos de Valor
Encuestas	(6%) Herramienta de indagación	(12%) Construcción de la DATA	(12%) Investigación para el mejoramiento
Entrevista			
Panel de expertos			
Ábaco de Regnier			
Revisión de la Literatura			
Aplicaciones estadísticas	(6%) Herramienta tratamiento de la información		
DOE			
Uso de Software SPSS 18 Windows			
Sistema modular con base a metamodelo			

Fuente: (Castañeda & Correa, 2022).

La **Tabla 11**, el desarrollo taxonómico determina que el atributo de Investigación para el mejoramiento, representa el 12%; es por esta razón que este componente es de gran interés en el entorno empresarial y el en mejoramiento continuo de los procesos, para abordar futuras investigaciones (Castañeda & Correa, 2022).

La **utilidad**, aporta el criterio útil, en particular para nuestro estudio, la identificación de los temas más interesante para emprender futuras investigaciones.

La construcción taxonómica, consolida los argumentos para dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los atributos de mayor interés por la comunidad científica tomando como base los factores de estudio de las temáticas y artículos científicos?

El estudio taxonómico, permite identificar los atributos más relevantes, los cuales se describen a continuación:

- La Gestión (64%), conformada por los factores que incluyen metodologías y herramientas aplicadas al proceso, como también metodologías y herramientas aplicadas a la calidad (Castañeda & Correa, 2022).
- La Estructura (24%), conformada por los factores estructurales que incluyen el objetivo metodológico y las condiciones emergentes internas y externas (Castañeda & Correa, 2022).
- La Investigación para el mejoramiento (12%), conformada por la construcción de la DATA, que incluye herramientas de indagación y de tratamiento de la información (Castañeda & Correa, 2022).

Como resultado del análisis taxonómico se podría definir el alcance de una futura investigación basada en la gestión y la estructura, representando estas, un desafío para el desarrollo de nuevo conocimiento, a la luz del sector empresarial y las temáticas estudiadas (Castañeda & Correa, 2022).

El en aparto de resultados, se da respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Qué oportunidades de investigación futuras se identifican, a la luz de las temáticas PYMEs, LSS e I4.0?

1.3 Resultados

La aplicación de la RSL, permitió el desarrollo ordenado y claro de la exploración, en la fase de planeación se logra: establecer 10 preguntas de investigación, definir 11 ecuaciones de búsqueda; en la ejecución se identifican 512 artículos pertinentes, los cuales fueron evaluados según los criterios de inclusión y exclusión, para llegar finalmente a 105 artículos aplicables a la investigación; de los cuales el 58% están relacionados con LSS-PYMES, seguido con un 29% I4.0-PYMES, LSS-I4.0 con el 12% y finalmente, PYMEs-LSS-I4.0 con 1%; donde se infiere que emprender una investigación relacionada (PYMEs-LSS-I4.0) daría un gran aporte dado su incipiente desarrollo (Castañeda & Correa, 2022).

Se identifica que de los 105 artículos aplicables para la investigación, la tendencia que tienen las metodologías entre el año 2005 y el año 2020 es creciente, se evidencia que la conexión entre PYMEs-LSS, tienen una tradición en sus publicaciones desde el año 2005 y que se ha mantenido con una línea de tendencia creciente hasta el año 2020, los escritos relacionados con PYMEs-I4.0 aunque sus publicaciones inician en el año 2011, se evidencia un crecimiento muy marcado a

partir del año 2017 hasta el año 2020 y por último, LSS-I4.0 ha iniciado sus publicaciones en el año 2018 con una tendencia muy marcada en el crecimiento de publicaciones hasta el año 2020. Este análisis da la seguridad que al entablar una investigación enmarcada en las temáticas estudiadas serian de interés en la comunidad científica (Castañeda & Correa, 2022).

La investigación permitió la identificación de los autores y países más representativos en las temáticas estudiadas, donde se evidencia que en el estudio del LSS-PYMEs, los autores que más publican son Jiju Antony - Maneesh Kumar y los países con mayor participación en las publicaciones son Reino Unido - India - Estados Unidos y Australia. Con respecto a I4.0-PYMEs, los autores más representativos son Erwin Rauch - Dominik T. Matt y los países Alemania, Italia, Reino Unido y Estados Unidos. Con respecto a LSS-I4.0. se observa un bajo nivel de desarrollo por lo reciente de su abordaje, con lo cual aún no hay un autor representativo, pero se identifican países con publicaciones como Reino Unido, India e Italia. Otro vacío de la literatura está enmarcado en la combinación de las temáticas LSS-I4.0-PYMEs, aun no tienen autores, ni países representativos (Castañeda & Correa, 2022).

Del análisis de los factores de estudio, se logra determinar con base en los 105 artículos, las siguientes proporciones, el 56% de los autores publican temas relacionados con las PYMEs, el 26% en temas de LSS y el 18% en Industria 4.0. De esta construcción se viene trabajando en mayor proporción en líneas de investigación como: encuestas, identificación de Factores Críticos de Éxito, programas de calidad, organigrama, aplicación de herramientas estadísticas, metodología *DMAIC*, indicadores críticos del proceso KPIs – OEE, TQM, internet de las cosas, digitalización, sistemas ciber físicos, automatización, *Smart Manufacturing*. Las líneas de investigación con participación intermedia como: ISO 9000, competitividad e innovación, ERP, Uso de *Software SPSS 18 Windows*, gestión de la cadena de suministros, entrevistas, mejora operacional, TPM, cartas de control, 5S, espina de pez, 7 desperdicios, DOE, Pareto, simulación, ciber seguridad, inteligencia artificial, disminución de tiempos muertos, reducir la variabilidad del proceso, disminuir del desperdicio y estandarización del proceso. Líneas de investigación poco trabajadas son: capacidad dinámica, agricultura, mantenimiento predictivo, *networking*, teoría de restricciones, realidad aumentada, manufactura aditiva e integración horizontal y vertical del sistema (Castañeda & Correa, 2022).

Se identifican aspectos importantes derivados del estudio de las temáticas como el Objetivo de la metodología y el Tipo de estudio realizado, donde se reconoce que en gran medida los artículos estudiados tienen como objetivo el ahorro en costos de producción, creación de valor sostenible, incrementar la productividad,

disminución de tiempos muertos, reducir la variabilidad del proceso, disminuir el desperdicio y estandarización del proceso. En cuanto al tipo de estudio, la revisión de la literatura, es el más utilizado por la comunidad académica (Castañeda & Correa, 2022).

El estudio taxonómico de los factores de estudio, permitió identificar que los atributos Gestión (64%), Estructura (24%), Investigación para el mejoramiento (12%), son criterios relevantes para la comunidad científica. Lo que nos permitiría abordar una investigación soportada en la gestión y la estructura del entorno empresarial (Castañeda & Correa, 2022).

1.3.1 Limitaciones

En el desarrollo del estado del arte, no se tomó como parámetro dentro del alcance de la investigación, material bibliográfico que no relacionara en su título, resumen y palabras claves, los temas de LSS, I4.0 y PYMEs (Castañeda & Correa, 2022).

Se realizó la exploración de material científico publicado, en la franja de tiempo corresponde a los años 2005 a 2020 (Castañeda & Correa, 2022).

La exploración del material científico se realizó, dentro del alcance del segmento de empresas PYMEs, la gran empresa no se exploró en este estudio (Castañeda & Correa, 2022).

1.3.2 Futuras investigaciones

Desarrollar metodologías orientadas al mejoramiento de la productividad, enmarcadas en la integración de las temáticas de estudio PYMEs, LSS e I4.0 (Castañeda & Correa, 2022).

Desarrollar investigaciones complementarias a la luz del PYMEs-LSS, PYMEs-I4.0 o LSS-I4.0 son de interés para la comunidad académica y científica, lo demuestran las líneas de tendencia creciente en las publicaciones en el periodo comprendido entre 2005 y 2020 (Castañeda & Correa, 2022).

Construir conocimiento dentro del alcance de las temáticas LSS-I4.0 o LSS-I4.0-PYMEs puede traer un gran impacto en la comunidad científica, ya se identifican pocas publicaciones al respecto (Castañeda & Correa, 2022).

Desarrollo de nuevas metodologías en la implementación de I4.0, cultura organizacional, intercambio de Información, estudios descriptivos (Cualitativo y Cuantitativo) y estudios exploratorios, representan oportunidad en la construcción de nuevas contribuciones (Castañeda & Correa, 2022).

2. Caracterización de componentes temáticos y definición de elementos técnicos base del constructo metodológico.

Este capítulo tiene como fin, la caracterización de los componentes temáticos, que soportan la estructura PYME, el sistema de gestión por procesos con tecnologías I4.0. y los principios Lean Six Sigma (LSS), los cuales definirán los elementos del constructo para plantear la metodología integradora.

El desarrollo del capítulo tendrá como primera construcción, la estructura operativa PYMEs, que estará soportada en parámetros como los atributos particulares de las estructuras organizacionales, la clasificación de las unidades productivas, los elementos de adaptabilidad en el entorno de las PYMEs y la interacción del ecosistema donde interactúan las PYMEs. Como segunda construcción, se consolidarán los componentes de GP, I4.0 y LSS. Estas construcciones respaldarán y servirán como aporte a la consolidación de la metodología integrada que tiene como fin el desarrollo de esta tesis.

En la **Figura 11**, se modela el mapa mental que orienta los componentes a desarrollar con la construcción del capítulo.

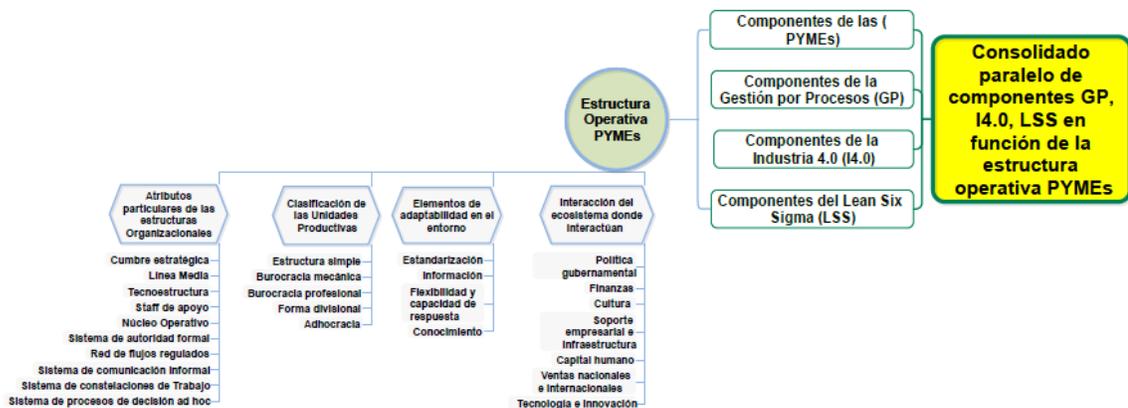


Figura 11. Componentes temáticos GP-LSS-I4.0-PYMEs.

Fuente: elaboración propia usando MindMapper.

2.1 Atributos particulares de las estructuras organizacionales

Las organizaciones tienden a desarrollar características particulares según su cultura organizacional, políticas gubernamentales y dinámicas del mercado; es por esta razón que este estudio tomará como base general los aportes propuestos por (Mintzberg, 1991) en su libro “Diseño de Organizaciones Eficientes”, donde se define como punto de partida que las organizaciones están compuestas por cinco partes, “Cumbre estratégica, tecnoestructura, línea media, staff de apoyo y núcleo operativo” las cuales se pueden evidenciar en la **Figura 12**. Estos elementos darán los fundamentos guía para el desarrollo de la estructura optima de una PYME.

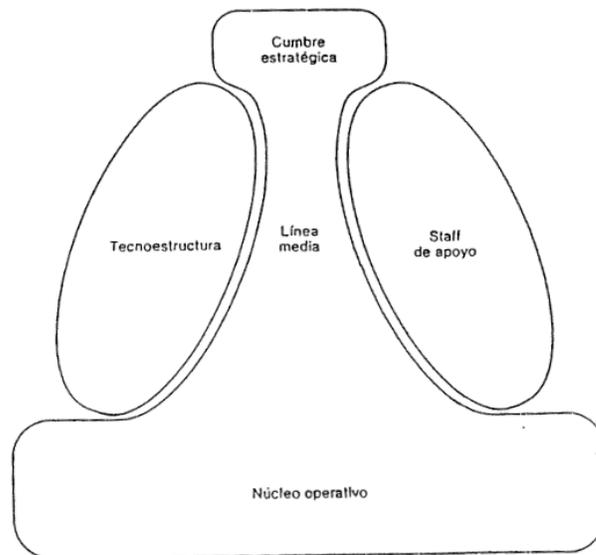


Figura 12. Las cinco partes básicas de la organización.

Fuente: basado en (Mintzberg, 1991).

Con base al diagrama propuesto en la **Figura 12** por (Mintzberg, 1991), se representa la estructura organizacional en cinco partes básicas, donde se describe el significado de cada uno de los componentes que conforman la estructura organizacional, a través de la descripción se pretende aclarar el significado teórico como un aporte al conocimiento de la estructura operativa que se pretende consolidar para dar respuesta a los objetivos propuestos.

2.1.1 Cumbre estratégica

“Encargada de asegurar que la organización cumpla su misión de manera efectiva, y también que satisfaga las necesidades de aquellos que la controlan o que de otra forma tengan poder sobre la organización, donde se desempeñan roles como presidente, gerente, director, staff del presidente, comité ejecutivo, entre otros; sus principales funciones son tener la responsabilidad general de la organización, administrar las condiciones fronterizas de la organización, planear y desarrollar la estrategia de la organización” (Mintzberg, 1991).

2.1.2 Línea media

“Lidera la ejecución de los planes de producción, con autoridad formal y supervisión directa, encargados de definir estrategias por unidad de producción, en este nivel desempeñan su rol: jefes de área, coordinadores, supervisores entre otros; sus principales funciones están en gestionar la comunicación directa entre gerente y operarios por su estrecho contacto con ambos niveles, tienen autoridad directa sobre los operarios y consolidan la retroalimentación (Feedback) del desempeño de su unidad productiva” (Mintzberg, 1991).

2.1.3 Tecnoestructura

“Es donde se consolida el equipo de analistas y su Staff de empleados de apoyo, se pueden encontrar roles como planeadores, investigadores operativos, programadores de producción, analistas de métodos y tiempos, entre otros; se considera parte clave en la estrategia de mejoramiento continuo y sus funciones están orientadas a diseñar, planear y ejecutar planes de capacitación y formación, usan sus técnicas analíticas para hacer el trabajo de otros más efectivo, adaptación de cambios de la organización, encargados del control, de estabilizar y estandarizar esquemas de trabajo, definir roles para los trabajadores y normalmente están por fuera del trabajo operativo” (Mintzberg, 1991).

2.1.4 Staff de apoyo

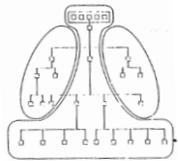
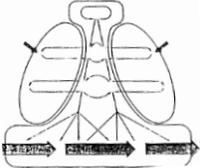
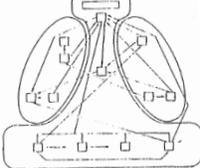
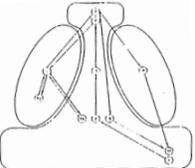
“Toma recursos de la organización mayor, a su vez, le suministran servicios específicos, pero funcionan independientemente del núcleo operativo principal, donde encontramos servicios como consejo legal, relaciones públicas, relaciones industriales, proyectos de investigación y desarrollo, contadores y revisoría fiscal, entre otros. A menudo trabajan por prestación de servicios, proyectos o contratos a término fijo” (Mintzberg, 1991).

2.1.5 Núcleo operativo

“Conformado específicamente por empleados que realizan el trabajo básico de producción, también llamados “El corazón de la organización”, como almacenistas, operarios de máquinas, ensambladores, vendedores, transportadores, entre otros; sus principales funciones están orientadas en asegurar insumos de producción, transformar los insumos en producción, distribuir la producción y proveer apoyo directo a las funciones de entrada, transformación y producción” (Mintzberg, 1991).

A continuación, se evidenciarán algunos tipos de estructura que se han utilizado según (Mintzberg, 1991).

Tabla 12. Tipos de estructura organizacional

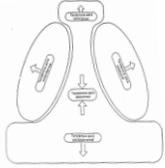
	<p>Sistema de autoridad formal: “Poder formal bajado por jerarquía, representa una imagen exacta de la división de trabajo, mostrando a simple vista qué posiciones existen en la organización, cómo están agrupadas en unidades y cómo fluye entre ellas la autoridad formal” (Mintzberg, 1991).</p>
	<p>Red de flujos regulados: “Esta es una visión de la organización compatible con las nociones tradicionales de autoridad y jerarquía, pero, distinta de la primera, pone más énfasis sobre la estandarización, que sobre la supervisión directa” (Mintzberg, 1991).</p>
	<p>Sistema de comunicación Informal: “Un mapa de quién en realidad se comunicó con quién en un estudio de un gobierno municipal (tomado del trabajo de Pflffner y Sherwood. 1960). Lo que esta visión de la organización indica es que existen centros de poder no oficiales en las organizaciones y que las grandes redes de comunicación informal suplementan y a veces burlan los canales de autoridad y regulación” (Mintzberg, 1991).</p>
	<p>Sistema de constelaciones de Trabajo: “La base de la visión de que la gente se agrupa con sus pares para hacer su trabajo, no en relación con la jerarquía” (Mintzberg, 1991).</p>
	<p>Sistema de procesos de decisión ad hoc: “Lo que tenemos en esta superposición es la corriente de una decisión estratégica del principio al fin” (Mintzberg, 1991), como estrategia para los eventos Kaizen.</p>

Fuente: elaboración propia, basado en (Mintzberg, 1991).

En la **Tabla 12**, se evidencian diferentes tipos de estructuras organizacionales que dan orientación al empresario, para definir con criterio la que más se acomode a

su necesidad según su cultura organizacional o por lo contrario la que más se adapte al mercado objetivo. Es por esta razón que para ir diseñando una estructura organizacional adaptativa y enfocada en soportar el LSS como elemento regulador y el desarrollo de tecnología I4.0 como soporte a la gestión y como elemento auto regulador, se debe indagar en más detalle cada una de las dimensiones organizacionales y sus características particulares, es por tal motivo que se describe en la **Tabla 12, 13 y 14** algunas características y definiciones de las configuraciones organizacionales.

Tabla 13. Configuraciones organizacionales

	Estructura simple	Burocracia mecánica	Burocracia profesional	Forma divisional	Adhocracia
Mecanismo coordinador clave	Supervisión directa	Estandarización del trabajo	Estandarización de destrezas	Estandarización de producto	Ajuste mutuo
Parte clave de la organización	Cumbre estratégica	Tecnoestructura	Núcleo operativo	Línea media	Staff de apoyo (con núcleo operativo en adherencia operativa)
Parámetros de diseño					
Especialización de línea	Poca especialización	Mucha especialización horizontal y vertical	Mucha especialización horizontal	Alguna especialización horizontal y vertical (entre divisiones y casa central)	Mucha especialización horizontal
Capacitación y adoctrinamiento	Poca capacitación y adoctrinamiento	Poca capacitación y adoctrinamiento	Mucha capacitación y adoctrinamiento	Alguna capacitación y adoctrinamiento (de gerentes de división)	Mucha capacitación
Formalización de comportamiento, burocrática/orgánica	Poca formalización orgánica	Mucha formación burocrática	Poca formalización, burocrática	Mucha formación (en las divisiones) burocrática	Poca formalización, orgánica
Agrupamiento	Usualmente funcional	Usualmente funcional	Funcional y de mercado	De mercado	Funcional y de mercado

Tamaño	Grande	Grande en la base, pequeña en el resto	Grande en la base, pequeño en el resto	Grande (arriba)	Toda pequeña
Sistema de planeación y control	Poco planeamiento y control	Planteamiento de la acción	Poco planeamiento y control	Mucho control de desempeño	Planeamiento de acción limitado (esp en adhocracia administración)
Dispositivos de enlace	Pocos dispositivos de enlace	Pocos dispositivos de enlace	Dispositivos de enlace en la administración	Pocos dispositivos de enlace	Muchos dispositivos de enlace en todos lados
Descentralización	Centralización	Descentralización horizontal limitada	Descentralización horizontal y vertical	Descentralización vertical limitada	Descentralización selectiva
Entrenamiento estrategia	Todo el trabajo administrativo	Afinamiento coordinación de funciones resolución de conflictos	Enlace exterior resolución de conflictos	Cartera estratégica control de desempeño	Enlace exterior, resolución de conflictos, equilibrio del trabajo, control de proyectos
Núcleo operativo	Trabajo informal con poca discrecionalidad	Trabajo formalizado con poca discrecionalidad	Trabajo estandarizado diestro con mucha autonomía individual	Tendencia a formalizar debido a la discrecionalidad	Truncado (en Adhocracia Administrativa) o fusionado a la administración para hacer trabajo de proyecto informal (en Adhocracia Operativa)
Línea media	Insignificante	Elaborada y diferenciada, resolución de conflictos, estado mayor de enlace, apoyo de corrientes verticales	Controlada por profesionales mucho ajuste mutuo	Formalización de la estrategia divisional, administración de las operaciones	Extensa pero difusa con estado mayor, involucrada en trabajo de proyecto
Tecnoestructura	Ninguna	Elaborada para formalizar trabajo	Poca	Elaborada en casa central para control de desempeño	Pequeña y difusa (especialmente en Adhocracia Administrativa) en el centro en trabajo de proyecto
Staff de apoyo	Pequeño	A menudo elaborado para reducir incertidumbre	Elaborado para apoyo de profesionales, estructura de burocracia mecánica	Dividido entre casa central y divisiones	Altamente elaborado (esp en Adhocracia Administrativa) pero difusa en el medio por el trabajo de proyecto
Flujo de autoridad	Significativo desde arriba	Significativa en todos lados	Insignificante (excepto en el staff de apoyo)	Significativo en todos lados	Insignificante

Flujo de sistema regulado	Insignificante	Significativa en todos lados	Insignificante (excepto en el staff de apoyo)	Significativo en todos lados	Insignificante
Flujo de comunicación informal	Significativo	Desalentador	Significativo en la administración	Alguno entre cosa central y divisiones	Significativo en todos lados
Constelaciones de trabajo	Ninguna	Insignificantes especialmente en niveles inferiores	Algunas en la administración	Insignificantes	Significativas en todos lados (especialmente en Adhocracia Administrativa)
Flujo de decisión	De arriba abajo	De arriba abajo	De abajo – arriba	Diferenciado entre casa central y divisiones	Mixto en todos los niveles
Factores situacionales					
Edad y tamaño	Típicamente joven y pequeña (primera etapa)	Típicamente vieja y grande (segunda etapa)	Vieja	Típicamente vieja y muy grande (tercera etapa)	Típicamente joven (Adhocracia Operativa)
Sistema técnico	Simple, no regulado	Regulador, pero no automatizado ni sofisticado	No regulado o sofisticado	Divisible, de otra forma típicamente como la burocracia mecánica	Muy sofisticado a menudo automatizado (en Adhocracia Administrativa) no regulado o sofisticado (en Adhocracia Operativa)
Ambiente	Simple y dinámica, a veces hostil	Simple y estable	Complejo y estable	Relativamente simple y estable, mercados diversificados (especialmente de productos y servicios)	Complejo y dinámico, a veces disperso (en Adhocracia Administrativa)
Poder	Control de ejecutivo jefe, a menudo administrada por el dueño, no de moda	Control tecnocrático y a veces externo, no de moda	Control de operador profesional, de moda	Control de línea medía, de moda (especialmente en la industria)	Control experto, muy de moda

Fuente: elaboración propia, basado en (Mintzberg, 1991).

Tabla 14. Descripción de las configuraciones organizacionales

TIPO ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN	TIPO EMPRESA
Estructura simple	Estructura sencilla, informal y flexible. Corresponde a empresas pequeñas cuyas actividades giran en torno al	Microempresas, empresas que carecen

	director general, quien efectúa en forma directa la supervisión de los empleados y además asume varias funciones.	de un equipo de dirección.
Burocracia mecánica	El poder de decisión está centralizado y posee una elaborada estructura administrativa. Mintzberg señala, con gran evidencia empírica, que cuando mayor es la edad de una organización más formalizado es su comportamiento. De modo que una organización con burocracia maquinal no suele ser una organización joven. El experto subraya la existencia de una obsesión por el control en todos los niveles jerárquicos, buscando la eliminación de toda incertidumbre para que la maquinaria burocrática funcione bien.	Las oficinas de correos, las agencias de seguridad, las empresas siderúrgicas, las prisiones, las líneas aéreas, los grandes fabricantes de automóviles.
Burocracia profesional	Incorpora especialistas debidamente preparados y adocotrados, es decir, profesionales, quienes asumen un control significativo sobre su propio trabajo. La naturaleza burocrática de esta configuración radica en el empleo de normas que predeterminan lo que se debe hacer al interior de la organización. A diferencia de la burocracia maquinal, en la burocracia profesional las normas surgen fuera de su propia estructura, especialmente en las asociaciones profesionales que reúnen a los operarios con sus colegas de otras burocracias profesionales.	Universidades, los hospitales, los centros escolares, las empresas de contabilidad.
Forma divisional	Estructura basada en divisiones autónomas, cada una de ellas con una estructura propia y débilmente acopladas entre sí, aunque existe una dirección administrativa única. Este tipo de organización se ve en empresas grandes con varias sedes administrativas distribuidas con criterios geográficos principalmente.	Compañías multinacionales.
Adhocracia	Del latín ad hoc (para esto o para este fin), la adhocracia se refiere a cualquier estructura altamente flexible capaz de adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes del entorno. Se trata de una organización descentralizada, conformada por equipos multidisciplinarios coordinados, capaces de adaptarse fácilmente a los cambios, con directivos integradores y con una estructura de matriz.	Empresas de alta tecnología.

Fuente: elaboración propia, basado en (Mintzberg, 1991).

De acuerdo con lo relacionado en las **Tablas 12, 13 y 14**, se puede considerar que, las características particulares de las estructuras organizacionales, permiten tomar como referencias elementos que agregan valor y fundamento, al momento de plantear un modelo de estructura particular para un tipo de organización; a través del material consolidado en las tablas mencionadas, se puede contar con un inventario amplio de características, que ayudan a la construcción de nuestra

estructura operativas PYME, la cual tiene la capacidad de soportar la metodología integradora de GP-LSS-I4.0-PYMEs.

2.2 Clasificación de las unidades productivas

Al darle una mirada al concepto de empresa industriales, se define según la RAE, como: “Unidad de organización dedicada a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios con fines lucrativos”. Otra definición es “Entidad conformada básicamente por personas, aspiraciones, realizaciones, bienes materiales y capacidades técnicas y financieras; todo lo cual, le permite dedicarse a la producción y transformación de productos y/o la prestación de servicios para satisfacer necesidades y deseos existentes en la sociedad, con la finalidad de obtener una utilidad o beneficio”(Reatiga, 2018) El concepto de empresa se entenderá por “Toda actividad económica organizada para la producción, transformación, circulación, administración o custodia de bienes, o para la prestación de servicios dicha actividad se realizará a través de uno o más establecimientos de comercio(La & Mercantil, 1971).

De acuerdo con lo anterior, se puede considerar que la empresa, es la unidad económico-social en la que el capital, el trabajo y la dirección se coordinan para realizar una producción socialmente útil, de acuerdo con las exigencias del bien común, convirtiéndolas en un sistema complejo que requiere de una intervención técnica y científica, que permita darle orientación para que el sistema este controlado, productivo y genere renta. Es por esta razón que se describen las unidades productivas según su clasificación.

Tabla 15. Clasificación de las organizaciones

Característica	Clasificación
Según su la actividad económica	Del sector primario, es decir, que crea la utilidad de los bienes al obtener los recursos de la naturaleza (agrícolas, ganaderas, pesqueras, mineras, etc).
	Del sector secundario, que centra su actividad productiva al transformar físicamente unos bienes en otros más útiles para su uso. En este grupo se encuentran las empresas industriales y de construcción.
	Del sector terciario (servicios y comercio), con actividades de diversa naturaleza, como comerciales, transporte, turismo, asesoría, etc.
Según La Forma Jurídica	Empresas individuales, si solo pertenece a una persona. Esta responde frente a terceros con todos sus bienes, tiene responsabilidad ilimitada.
	Empresas societarias o sociedades, generalmente constituidas por varias personas.
Según su Tamaño	Microempresa, si posee menos de 10 trabajadores.
	Pequeña empresa, si tiene menos de 50 trabajadores.

	Mediana empresa, si tiene un número entre 51 y 200 trabajadores.
	Gran empresa, si posee más de 201 trabajadores.
Según el Ámbito de Operación	Empresas locales.
	Regionales.
	Nacionales.
	Multinacionales.
Según la Composición del Capital	Empresa privada, si el capital está en manos de particulares.
	Empresa pública, si el capital y el control está en manos del Estado.
	Empresa mixta, si la propiedad es compartida.
	Empresa de autogestión, si el capital está en manos de los trabajadores.

Fuente: basado en (Nieto. et al., 2015).

En el desarrollo del presente capítulo, se han podido fundamentar aspectos que ayudan al conocimiento de la estructura de las organizaciones empresariales, de modo que se puede ir encaminando el diseño de la estructura operativa PYMEs; a partir de los aportes que siguen, se podrá seguir con la descripción elementos de valor como, la adaptabilidad en el entorno de las PYMEs, el ecosistema donde interactúan, hasta llegar a la estructura PYME.

Posteriormente, se describirán características de las pymes, componentes de la gestión por procesos (GP), componentes de la industria 4.0 (I4.0), componentes de lean six sigma (LSS), hasta llegar a un consolidado paralelo de los componentes de las temáticas en función de la estructura operativa PYME; el cual se convierte en un elemento fundamental para el desarrollo del objetivo de esta tesis.

2.3 Elementos de adaptabilidad en el entorno de las PYMEs

Dándole una mirada a la historia de los modelos organizacionales, se identifica que la evolución de las empresas, se ha enfocado en elementos como, ver **Tabla 16**.

Tabla 16. Evolución de modelos organizacionales

Espacio histórico	1900 – 1980	1981 - 1990	1991 - ¿?
Etapas históricas	Estandarización	Orientación al cliente	Innovación
Estructura organizacional	Jerarquizada (funcional, divisional, matricial)	Adhocracia, horizontal, red	Celular
Activo clave	Bienes de capital	Información	Conocimiento
Gerente clave	Gerente de operaciones	Gerente de información	Gerente de conocimiento

Competencias claves	Especialización y segmentación	Flexibilidad y capacidad de respuesta	Diseño de la creatividad
----------------------------	--------------------------------	--	--------------------------

Fuente: basado en (Tovar & Arturo, 2002).

La **Tabla 16**, muestra como en el espacio histórico, se evidencian modelos con metodologías que se socializan en el mundo y se convierten en una moda puntual, pero hay sectores que no alcanzan a implementarla y evaluar sus beneficios, cuando salen nuevas metodologías que despiertan su interés, prefieren implementar la nueva de (moda), con la creencia que es la mejor, sin evaluar el impacto final de la anterior.

De la **Tabla 16**, se toman algunos modelos en particular, que aportan a la construcción de la propuesta de estructura operativa PYME para la adaptabilidad en el entorno como: la estandarización, la información, la flexibilidad y capacidad de respuesta, además del conocimiento; a continuación, se amplía la información en particular.

2.3.1 La estandarización

Entendida desde la medición de la capacidad del proceso y la forma como se debe realizar, se referencia desde el año 1900 y a la fecha es una ventaja competitiva con la que debe contar una empresa para adaptarse al entorno competitivo (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.2 Información

Inicia su aparición desde al año 1981 y en la actualidad es uno de los bienes más demandados por las empresas para la toma de decisiones, actualmente representa uno de los activos de más valor en las empresas (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.3 Flexibilidad y capacidad de respuesta

Aparece en el año 1981, donde ha tenido un crecimiento exponencial a raíz del desarrollo y evolución exponencial de la tecnología, que obliga a que las empresas se adapten rápidamente a las dinámicas del mercado y los sistemas de producción (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.4 El conocimiento

Es uno de los criterios más actuales y se habla de él desde el año 1991, en la actualidad el “saber hacer” es una de las ventajas competitivas del profesional y de los líderes de producción, además de los equipos de trabajo, un título sin conocimiento en la actualidad no es precisable por el sector industrial. Una empresa indiferente sea su tamaño se diferencia actualmente y es altamente adaptativa según el conocimiento de su capital humano (Tovar & Arturo, 2002).

El concepto de adaptabilidad, es un criterio que surge desde hace más de 100 años con el argumento “No son las especies más fuertes las que sobreviven, ni aun las más inteligentes, sino las que se adaptan al cambio” (Darwin, 1921). Este criterio se menciona con respecto a las especies, pero aplica coherentemente con las organizaciones, dicha adaptación está orientada específicamente por los líderes y son estos los responsables del futuro éxito o declive de las organizaciones, donde con un mundo tan dinámico se exige que se dé una respuesta oportuna desde las organizaciones y se pueda cumplir con estos desafíos, donde la capacidad de adaptarse se convierte en una ventaja competitiva en las empresas.

Siguiendo por un recorrido de la historia en referencia a conceptos que han aportado en la dinamización de la evolución de las organizaciones, para mejorar sus niveles de competitividad y **adaptarse al cambio** de a las dinámicas comerciales, se identifican: la estructura, la estrategia, el talento, la cultura y el propósito. (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.5 Estructura

A finales del siglo XIX “1919” las organizaciones que se diferenciaron fueron las que trabajaron su estructura, roles, funciones, sistemas y procesos, “no necesitamos la iniciativa de los trabajadores, necesitamos que cumplan con el proceso que está establecido y que lo hagan rápido”(Taylor, 1919) (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.6 Estrategia

En los años “1930” las organizaciones que se diferenciaron fueron las que trabajaron la estrategia, donde se evidencia que en General Motor, aplico el criterio que “solo a través del aumento del conocimiento podemos progresar o sobrevivir”; pero tenía un limitante y es que solo se podía desarrollar ese tipo de competencias en los niveles directivos de la organización (Sloan, 2005) (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.7 Talento

Como diferenciador para el mejoramiento de su competitividad, como es el caso de General Electric, “1980-1990”, donde su principal trabajo es el desarrollo del talento en su equipo de trabajo; aunque el desarrollo de talento, puede traer una oportunidad de mejora enmarcada en los egos de los trabajadores, las agendas personales y sus zonas de poder (Welch, 2004) (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.8 Cultura

En “1993” la diferenciación se da con la cultura, con el desarrollo del trabajo en equipo, la difusión del plan en un mismo lenguaje en todos los niveles de la organización, priorizando el interés colectivo sobre el particular, donde en IBM, se expresaba que “la cultura no es una parte del juego, sino el juego”(Jr., 2003) (Tovar & Arturo, 2002).

2.3.9 Propósito

En los años “2000” ha tomado fuerza el concepto de propósito, donde se entiende propósito no solo como el logro de conseguir dinero, sino de dejar una huella que es más grande que la misma organización, “Para que existimos”, donde el principal exponente es Steve Jobs con Apple, donde se identifica que el personal motivado hace grandes cosas, marcando una diferencia en millones de personas del común (Isaacson, 2014) (Tovar & Arturo, 2002).

Otros conceptos de adaptabilidad de la organización al entorno se evidencian a continuación.

Una organización adaptativa es aquella que tiene una estructura flexible, una estrategia abierta a la experimentación, un talento que juega en equipo, una cultura que permite enfrentar los desafíos y un propósito que inspira y convoca. Donde al final se simplifica no solamente a administrar una organización, sino a liderar personas (Eichholz, 2017).

La conducta adaptativa, basado en (Alarcon & Sepulveda., 2014), propone que las áreas que conforman las habilidades adaptativas son: comunicación, cuidado personal, vida en el hogar, sociales, académicas, utilización de la comunidad, autodirección, salud y seguridad, y funcionales, tiempo libre y trabajo. Estos elementos pueden orientar un equilibrio que deben tener las empresas para potencializar su capacidad de adaptación; y lo que, si queda claro, es que el

equilibrio del capital humano y su interacción en la sociedad, son elementos claves para el éxito de una empresa que quiera adaptarse al entorno cambiante.

En la **Tabla 17**, se describen algunos factores tomados de (Maria & Cortés, 2018), de una RSL, con una ventana de observación desde el 2000 al 2017, estos hallazgo permitieron identificar aportes de la comunidad científica a nivel mundial, sobre la adaptación al cambio organizacional; estos hallazgo aportan positivamente al estudio, agregando valor al momento de implementar una nueva metodología de mejoramiento de la productividad en las PYMEs.

Tabla 17. Factores de adaptación al cambio organizacional

Característica	Factores
Aspectos motivacionales y psicológicos	VARIABLES motivacionales monetarias, como bonificaciones, no tienen impacto positivo en la adaptación al cambio organizacional (Petrou et al., 2015).
	Un plan de prevención puede cooperar con la adaptación, desligando los incentivos económicos como único factor importante (Petrou et al., 2015).
	Basado en estudio en redes sociales encuentran que la escucha, el apoyo y la solidaridad son factores que facilitan la adaptación (Moyano Fuentes et al., 2007).
	Psicológicamente se identifica que una buena relación basada en comunicación, confianza, retroalimentación, apoyo y autoestima, respaldan los procesos adaptativos (van den Heuvel et al., 2014).
Flexibilidad y respuesta rápida	Flexibilidad organizacional “Gobierno, Directivos, Empleados” resulta vital para el creciente desarrollo del mundo globalizado (Ballina Ríos et al., 2016).
	Manejo efectivo de los recursos, de manera oportuna y reversible, a través de un proceso de aprendizaje (Maria & Cortés, 2018).
	Desarrollo de nuevos procesos y cambiar los procesos existentes de forma rápida y económica (Stohr & Muehlen 2008).
	Adaptación de la alta gerencia (Bada 2002).
	Asumir riesgos, facilitar la innovación y explorar nuevas prácticas de producción (Primmer y Wolf 2009).
	“La capacidad de anticipar es el ingrediente clave de la velocidad eficiente y la gestión del cambio” (Jovanovic 2015).
	Aprovechar el entusiasmo y el conocimiento de los primeros colaboradores que se adhieren al cambio (Stichler 2011).
Capacidad dinámica	Las capacidades dinámicas son parte de los factores que modelan la adaptación (Berkhout, Hertin, & Gann, 2006).
	Se proponen tres capacidades, “Identificar las amenazas y oportunidades en el mercado”, “Desarrollar alternativas de acción frente al cambio detectado” y “habilidad de la organización para adaptarse y ajustarse internamente” (Day & Schoemaker, 2016).
	Cultura organizacional creativa apoya la capacidad dinámica de la empresa para cambiar y adaptar sus recursos y actividades (Bock, Opsahl, George, & Gann, 2012).

Aprendizaje y experiencia	Habilidad de absorber información y conocimiento (Currah & Wrigley, 2004).
	Capacidad de identificar las barreras organizacionales que existen para adaptarse son la edad y la experiencia, a mayor edad y experiencias, menos mente abierta al cambio (Moyano et al. 2007).
	Alta capacidad de absorción suele analizar mejor su entorno, reconocer los nuevos desarrollos y utilizar ese conocimiento en pro de la organización (Jovanovic, 2015).
Trabajo en equipo	“Los equipos de trabajo y las modalidades de trabajo se convirtieron en las piedras angulares de las organizaciones” (Alcover, Rico, & Gil, 2011).
	Para los colaboradores la adaptación implica que deberán cooperar, interactuar y entender, cada vez más, las diferentes culturas, ideologías y pensamientos en un equipo de trabajo (Raineri, 2001).
	Los colaboradores no se preocupan por la razón del cambio, sino que se preocupan más por cómo pueden ejecutarlo y adaptarse a este (Moyano Fuentes, Bruque Cámara, & Eisenberg, 2007).
	La unión y el trabajo en equipo, ayuda a la adaptación al cambio, como es el caso de las empresa innovadoras, tecnificadas, especializadas, donde se vive una cultura de apoyo y competencia honesta (Alcover et al., 2011).
Planeación estratégica	Existen 4 fases para implementar un cambio, lo primero es identificar la necesidad del cambio, lo segundo es planificar el cambio teniendo presente orden, control, dirección y tiempo; la tercera es ejecutar lo planeado, presentando el plan a la organización, muy importante monitorear el desempeño y los resultados; la cuarta es mantener en el tiempo el cambio (Erwin, 2009).
	Para que una empresa pueda adaptarse correctamente: crear la urgencia del cambio, formar una relación interdependiente del proceso con los líderes, tener una misma visión y diseño del cambio, comunicar a toda la organización el cambio y su visión, involucrar y capacitar a los colaboradores conforme a la visión del cambio, medir y celebrar el triunfo, consolidar las creencias, comportamientos y operaciones, y por último, integrar las conductas, procesos y estructura para el éxito general de la organización (Stichler, 2011).
Liderazgo	Liderazgo estratégico, ya que permite enfocar el proceso de adaptación (O'Reilly et al. 2009).
	La función del líder, puesto que es él quién inicia el proceso de adaptación tomando precisamente acciones de liderazgo y comportamientos motivadores para poder incitar el aprendizaje en los colaboradores (Seah, Hsieh, & Huang, 2014).
	Capacidad de usar proactivamente fuentes de información y conocimiento, cualquier líder debe tener sed de aprendizaje, y contar con experiencia, capacidad de venta adaptativa y competitividad (Ahearne, Lam, Mathieu, & Bolander, 2010).
	Comunicar lo que ocurre en el cambio es vital, ya que, si la empresa se basa en la honestidad, los colaboradores podrán percibir beneficios y desventajas, pero tendrán un panorama claro, concreto y por tanto, habrá un mayor índice de colaboración con el cambio (Raineri 2001).

Un líder puede tener y promover estabilidad emocional para adaptarse al cambio si actúa de forma pausada y tranquila, si tiene confianza en sí mismo, si trabaja adecuadamente bajo altos niveles de estrés, y si tiene la habilidad de tomar y entender las críticas como una oportunidad de mejora (Kiarie, Maru, & Cheruiyot, 2017).

Fuente: basado en (Maria & Cortés, 2018).

Según el inventario de factores tomados, se destacan para este estudio factores motivacionales como el plan de adaptación, que integren componentes de comunicación para escuchar, apoyar y solidarizar a los equipos de trabajo, construyendo una retroalimentación constante, que ayuden a incrementar la confianza y autoestima del personal para respaldar el proceso de cambio en la organización y en los procesos adaptativos al mejoramiento de la productividad.

Desde el factor de flexibilidad se toma como aporte de valor la formación de gerentes, directivos y empleados en conocimiento de las normas gubernamentales, manejo efectivo de los recursos y la proactividad que permita asumir riesgos y anticiparse a los cambios, aprovechando el entusiasmo y conocimiento de los líderes pioneros del cambio, componente clave al momento de la implementación de nuevas metodologías de trabajo.

Con respecto al factor de la capacidad dinámica, es donde se moldea la adaptación, a través de detectar, aprovechar y transformar; actividades de valor para acondicionar la puesta en marcha de la metodología definida por la organización.

Finalmente, se consolidan cuatro factores muy importantes para el proceso de adaptación, desde el plan estratégico, se demarca el camino claro de puesta en marcha de la nueva metodología, su seguimiento y control e integración con la cultura organizacional, el trabajo en equipo, aporta la integración de conocimiento interdisciplinarios y la cohesión de los integrantes para adaptarse a los nuevos cambios, el liderazgo y aprendizaje, permiten desarrollar la identidad y orientación de los integrantes del equipo en conocimiento específico de los nuevos procedimientos, con la motivación incondicional del líder al cumplimiento y la formación constante de los integrantes del equipo.

El trabajo en equipo, al aporte de competencias interdisciplinarias y la formación constante; son elementos claves del éxito del mejoramiento de la productividad. La puesta en marcha de una estrategia de mejoramiento requiere de un alto empoderamiento del capital humano, ya que este representa la ejecución o puesta en marcha de las acciones planeadas y el cambio de la cultura organizacional.

2.4 Ecosistema donde interactúan las PYMEs

El ecosistema de las PYMEs está dado específicamente en la interrelación con las políticas gubernamentales, financieras, culturales, soporte técnico, mercado y capital humano, según (Yusoff et al., 2016) en su artículo “Un análisis del ecosistema empresarial entre pequeñas y medianas empresas en Malasia” definen un modelo de medición del ecosistema emprendedor, el cual se reconoce como aporte coherente al estudio que se está desarrollando.



Figura 13. Estructura ecosistema emprendedor PYMEs.
Fuente: basado en (Yusoff et al., 2016).

2.4.1 Política gubernamental

Incentivos fiscales y tasas de interés por préstamos.

2.4.2 Finanzas

Acceso a préstamos, financiero ayudas y ángeles inversionistas.

2.4.3 Cultura

Atributos emprendedores y motivación.

2.4.4 Soporte empresarial e infraestructura

Acceso a instalaciones y servicios.

2.4.5 Capital humano

Empleados, formadores y formación de aprendices.

2.4.6 Ventas nacionales e internacionales

Accesibilidad a los mercados.

2.4.7 Tecnología e innovación

Creación de producto y servicio de valor agregado (Anuar et al., 2020).

Se aclara que se incluye un séptimo elemento el cual se evidencia, como elemento que agrega valor a los nuevos desafíos del ecosistema PYMEs y es el componente de tecnología e innovación propuesto por (Ministry of Entrepreneur Development and Cooperatives, 2020).

También se observa como proyección de desarrollo de las PYMEs en el tiempo, de servicio y manufactura, la caracterización en microempresas, como “*Start-up stage*” etapa inicial o puesta en marcha, pequeña empresa como “*Growth stage*” etapa intermedia o etapa de madurez, mediana empresa como “*Maturity stage*” etapa de madurez (Yusoff et al., 2016).

Dentro del alcance de este estudio se tienen presentes los aportes relacionados con Mediana empresa como “*Maturity stage*” donde se evidencia un marco de la función del entendimiento del ecosistema donde interactúan las PYMEs.

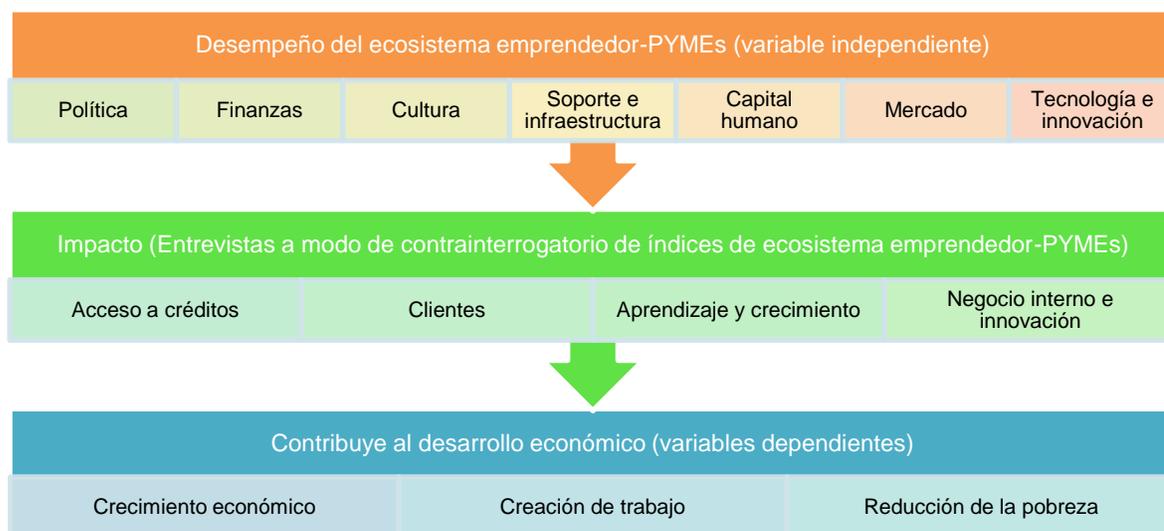


Figura 14. Marco contribuciones ecosistema emprendedor PYMEs
Fuente: basado en (Yusoff et al., 2016) (Anuar et al., 2020).

En este sentido con los elementos iniciales de nivel superior de la **Figura 14** “desempeño del ecosistema PYMEs” dan medida de la dinámica del entorno, donde interactúan los componentes principales a los que deben atender las PYMEs, para poderse adaptar y entablar una dinámica de integración participativa; demanda unos insumos y ofrece una solución a un mercado estándar donde participan variables independientes.

En el siguiente nivel intermedio podemos evidenciar “el impacto”, el cual está representado por la evaluación cruzada entre el ecosistema empresarial general y las PYMEs, en este sentido se tienen presente factores como “Éxito financiero, clientes, aprendizaje y crecimiento, además del negocio interno e innovador. En el último nivel, se identifica las contribuciones de las PYMEs a la economía de la sociedad, las cuales son las variables dependientes como el crecimiento económico, creación de trabajo y reducción de la pobreza.

A nivel nacional según (Innpulsa Colombia & Universidad Nacional de Colombia, 2017), se reconocen 7 factores claves a tener en cuenta del ecosistema de las PYMEs: el gobierno, organismos internacionales, academia, sector productivo, centros I+D, organizaciones sociales y cámaras de comercio. La sostenibilidad ambiental y reducción del cambio climático hacen parte de los factores que son importantes del ecosistema industrial de las PYMEs, además de otros componentes básicos que se evidencian en la interacción del ecosistema, ver **Tabla 18**.

Tabla 18. Componentes básicos interacción del ecosistema

COMPONENTE	ELEMENTOS DE INTERACCIÓN						
Actores	Soporte y servicios de mentoría	Incubadores y espacios de COWORKING	Programas de NETWORKING y de aceleración				
Proveedores de recursos	Financieros, bancos, capital de riesgo	Redes de inversión ángeles.	Multifinanciamiento y préstamos de pares	Acceso al mercado de activos	Alianzas con universidades y centros de I+D		
Conectores	Asociaciones de profesionales	Clubes de entrepreneurship "emprendimiento"	Centros de empresas	Servicios de búsqueda de inversores	Corredores de negocios		
Orientación empresarial	Estatus social de autoempleo, pequeños negocios y emprendimiento	Redes de inversores ángeles	Modelo de roles	Educación en entrepreneurship "emprendimiento"	Tolerancia a las equivocaciones e incorporación de la innovación		
Recursos	Humanos	Tecnológicos	Financieros	Legal y políticos	Individuales	Físicos	Sociales

Fuente: basado en (Innpulsa Colombia & Universidad Nacional de Colombia, 2017).

Desde el punto de vista de los recursos, se orientan a que aporten al diseño, análisis y comprensión del ecosistema empresarial, tomando la cultura y los mercados como dimensiones transversales de los componentes que estructuran el ecosistema empresarial.

A la luz de este estudio, es importante evidenciar al ecosistema empresarial visto desde la perspectiva Lean, donde nos orienta que, la aplicación de herramientas Lean en las empresas son un trampolín para que las PYMEs mejoren sus niveles de productividad.

También la aplicación de herramientas Lean ayuda a las implementaciones de metodologías de mejoramiento más oportunas, por su practicidad y acondicionamiento a la transformación del ecosistema, para adoptar la tecnología de la Industria 4.0. de modo que se pueda reducir altos desperdicios y costos de producción en la industria y a si cumplir con las demandas económicas del sector empresarial PYME (Anuar et al., 2020).

Con base en la descripción específica de las bondades y limitaciones de las diferentes estructuras organizacionales, se van vislumbrando características que agregan valor a una estructura PYME, de modo que se puedan configurar las dimensiones requeridas para el desarrollo de una estructura PYME que pueda

soportar LSS como elemento regulador y de la I4.0 como elemento auto regulador, en la gestión por procesos, para ayudar a la toma de decisiones gerenciales, es por esta razón que se propone la siguiente estructura para el desarrollo del estudio y que servirá como elemento base para iniciar la construcción de la propuesta metodológica.

Uno de los resultados del desarrollo del presente capítulo, es la construcción de la estructura operativa PYME, es por esta razón que en la **Figura 15**, se construye una matriz de relacionamiento, para decantar los criterios de valor para tal fin.

La estructura de la matriz se basa en cuatro subgrupos de elementos relacionales, tres subgrupos que se caracterizan por estar en el alcance de la acción de la estructura operativa PYME, estos son: adaptabilidad en el entorno (AE), clasificación de las unidades productivas (CUP) y atributos particulares de la estructura organizacional (APEO). El otro subgrupo es el ecosistema donde interactúan las PYMEs, foco de gestión de las PYMEs para adaptarse y continuar en el mercado.

Acción de relacionamiento de los subgrupos, en esta acción solo se toman los tres subgrupos donde las PYMEs tiene acción, para que los componentes que resulten de esta acción, aporten al diseño de la estructura PYME.

El subgrupo de adaptabilidad en el entorno, se deja de primero, ya que todos sus componentes deben estar incluido en la estructura operativa PYME.

Criterio de relacionamiento, se toman cada una de las líneas o elementos de cada subgrupo y se relaciona directamente con la línea que más facilidad tenga de lograr su objetivo de acción, registrando un punto de valor.

Resultados relacionamiento (AE) con (CUP)

La estandarización, se relaciona con todas las unidades productivas, menos con forma divisional.

La información, se relaciona con todas las unidades productivas.

La Flexibilidad y capacitación, solo se relaciona con estructura simple y adhocrática.

El conocimiento, se relaciona con todas las unidades productivas.

Puntaje relacionamiento (AE) con (CUP): estructura simple (4), burocracia mecánica (3), burocracia profesional (3), forma divisional (3) y adhocracia (4).

Resultados relacionamiento (CUP) con (APEO)

Estructura simple, se relaciona con sistema de autoridad formal, red de flujos regulados, sistemas de procesos de decisión ad hoc.

Burocracia mecánica, se relaciona con red de flujos regulados, sistema de constelaciones de trabajo.

Burocracia profesional, sistema de autoridad formal, sistema de constelaciones de trabajo.

Forma divisional, sistema de constelaciones de trabajo.

Adhocracia, sistema de constelaciones de trabajo, sistema de procesos de decisión ad hoc.

Puntaje relacionamiento (CUP) con (APEO).: sistema de autoridad formal (2), red de flujos regulados (2), sistema de comunicación informal (0), sistema de constelaciones de trabajo (4), sistemas de procesos de decisión ad hoc (2).

Los subgrupos de mayor valor de (AE), (CUP), (APEO) se relacionan con el subgrupo del ecosistema PYME por ser el foco de gestión de las PYMEs para adaptarse y continuar en el mercado.

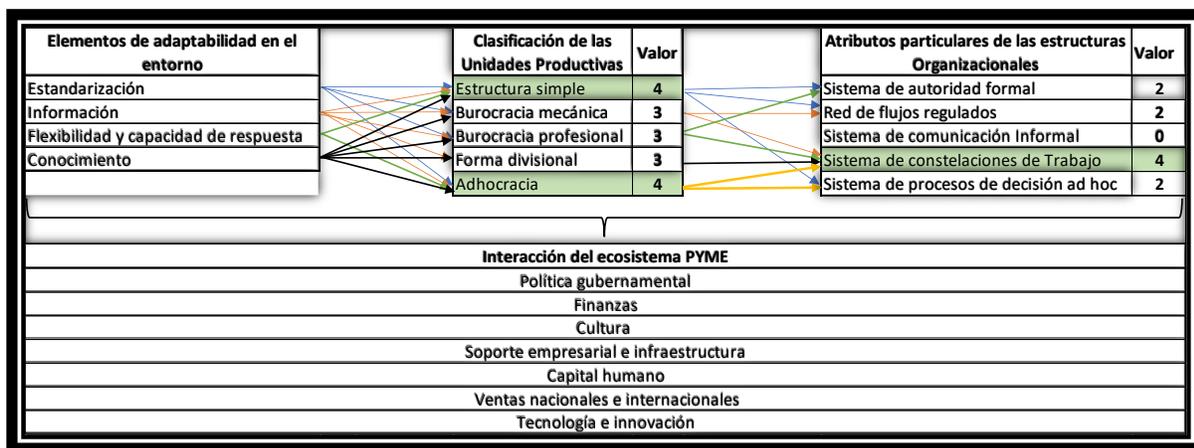


Figura 15. Matriz de relacionamiento – Componentes Estructura PYME.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, como resultado del ejercicio de relacionamiento se definen que las unidades productivas los elementos de mayor valor se enmarcaron en la estructura simple y la estructura adhocrática; de los atributos particulares de las estructuras organizacionales la mayor ponderación se da en el sistema de constelaciones de trabajo, aportando directamente a la estructura PYME presente en la **Figura 16**.

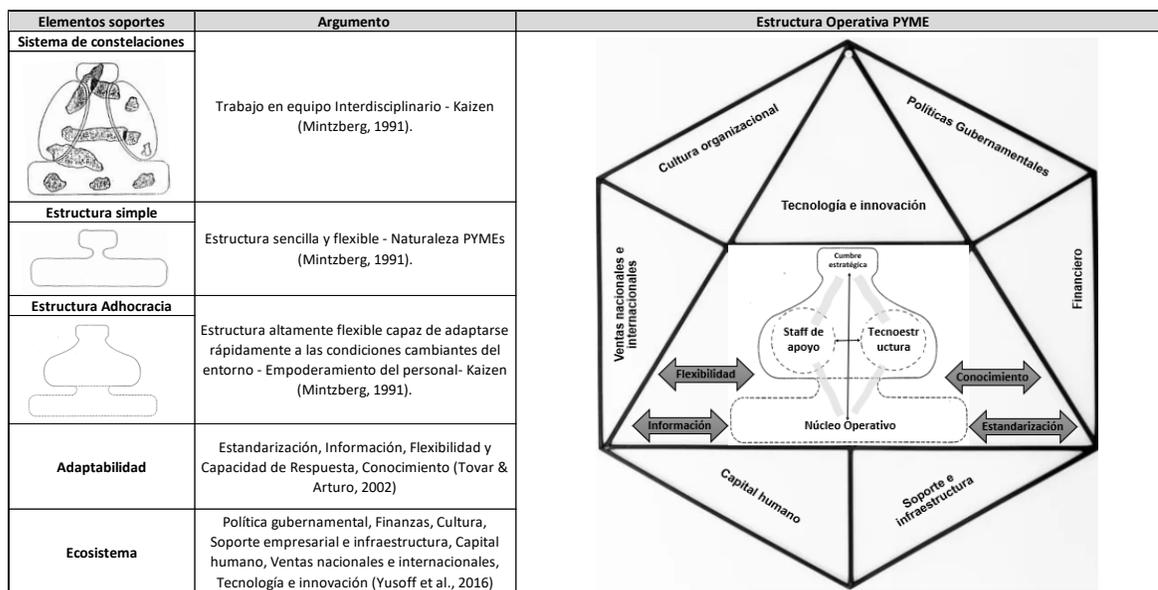


Figura 16. Estructura PYME.

Fuente: elaboración propia.

La estructura propuesta de las PYMEs en la **Figura 16**, nace de una necesidad de conocer en detalle sus elementos estructurales de modo que se identifiquen puntos críticos y de acople para adaptar los fundamentos de LSS y la tecnología I4.0. Es por esta razón que la estructura propuesta nace de una estructura simple acotada en la línea media, pero con supervisión directa mínima, donde se mantiene la cumbre estratégica que lidera el gerente o dueño de la empresa; en esta estructura se identifica de forma representativa y más relevante el núcleo operativo presentado por los operarios que son los que ejecutan el proceso de transformación de materias primas en productos terminados para una posterior comercialización.

La tecnoestructura se hace presente con una representación profesional (Ingeniero Industrial o afines) preferiblemente que tenga definido dentro de su rol la estandarización del proceso, normalización de los procedimientos de la empresa e implementación de tecnología 4.0 y componentes LSS, este profesional no debe hacer parte activa de la ejecución de la producción y se pone en línea punteada porque puede ser de planta o subcontratado.

Como Staff de apoyo, se requiere un asesor o consultor de mejoramiento continuo (LSS + I4.0) el cual orienta el desarrollo del capital humano con formación en trabajo en equipo y apalancado en un sistema de constelaciones para desarrollar eventos Kaizen (LSS), los cuales son transversales a todos los procesos y miembros de los equipos, tanto líderes como trabajadores operativos.

Dentro de esta estructura, se debe trabajar con elementos de Adhocracia, los cuales permiten un empoderamiento del personal en el cumplimiento de procedimientos, toma de decisiones, atención a fallos oportunos para no parar el proceso y a cultivar una cultura organizacional que respalde a la estructura en ser altamente flexible capaz de adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes del entorno.

Un elemento de valor que genera la necesidad de mantener la línea media, es liberar al gerente del torbellino de la producción (Covey et al., 2013) de modo que este, pueda mantener la visión futura de la empresa y mantener su atención en la innovación del negocio, para mantener la viabilidad financiera. Esta estructura está orientada en su aplicación para la mediana empresa, ya que es indispensable contar con una participación mínima del componente tecnoestructura y Staff de apoyo para desarrollar los conectores para la aplicación de los elementos LSS e I4.0.

La estructura tiene como prioridades la estandarización de los procesos operativos, de línea media y cumbre estratégica, lo que representa el punto de partida para la construcción de la metodología de mejoramiento, en la condición de que la empresa no los tenga definidos, esta estandarización permitirá que los equipos de trabajo se capaciten y puedan preparar su proceso para la implementación de una nueva tecnología o metodología de mejoramiento.

2.5 Características de las PYMEs

Las PYMEs son vitales para la economía de un país (Alexander et al., 2019). Unidades manufactureras representadas por procesos artesanales con bajo criterio científico, las cuales se clasifican por tamaño empresarial en Colombia (Nieto. et al., 2015), según la legislación, Ley 590/2000, Ley 905/2004 y Ley 1450/2011 (Ley 590 de 2000, 2000), (Ley 905 de 2004, 2004) (Ley 1450 de 16 Junio 2011, 2014).

Tabla 19. Clasificación PYMEs

TIPO	TRABAJADORES	ACTIVOS (salarios mínimos mensuales legales)
Microempresas	< 10	< 500
Pequeña empresa	11 a 50	501 - 5.000
Mediana empresa	51 a 200	5.001 - 30.000

Fuente: elaboración propia, basada en (Ley 905 de 2004, 2004).

Según la gran encuesta PYME del año 2019 con información de marzo a junio del presente año, con la entrevista de 1802 empresarios de PYMEs, de los sectores de industria, comercio y servicios, reflejaron un deterioro de la evolución de sus negocios en este primer periodo, con respecto un año anterior en el mismo periodo, debido a la demanda agregada del país (Gran, 2019). Lo cual refleja la gran oportunidad que tiene el país en mejorar su competitividad a nivel local con miras a los mercados internacionales.

En América Latina las PYMEs tienen una participación en el tejido productivo del 99% de las empresas formales y representan el 61% del empleo formal, convirtiendo las PYMEs en un actor central para garantizar la transformación económica, hacia el crecimiento económico y sostenible de la sociedad (Dini & Stumpo, 2018).

La OCDE (OCDE, 2009) como foro único en el que los gobiernos trabajan juntos para abordar los problemas económicos, sociales y desafíos ambientales de la globalización, está a la vanguardia de los esfuerzos para comprender y ayudar a los gobiernos para responder a los nuevos desarrollos e inquietudes, como el gobierno corporativo, la información de la economía y los desafíos del envejecimiento de la población.

La organización proporciona un entorno donde los gobiernos puede comparar experiencias políticas y buscar respuestas a problemas comunes, identificar buenas prácticas y trabajar para coordinar las políticas nacionales e internacionales, pueden afectar o beneficiar las PYMEs, por eso es de vital importancia estar a la vanguardia de las dinámicas económicas y gubernamentales que evolucionan en los diferentes países.

A pesar de estas dinámicas dadas en el entorno dinámico y cambiante en el que deben moverse las empresas, viene la necesidad de que las metodologías de mejoramiento permanezca en continua evolución para el ámbito de las PYMEs motivando la generación de nuevas herramientas de gestión, orientadas a reducir aquellas actividades que no agregan valor para el cliente (Rave et al., 2011).

Es por eso que con la ayuda de GP, LSS e I4.0 se busca potencializar los beneficios a nivel de productividad y excelencia operativa en las PYMEs, buscando evitar las herramientas de manera independiente, sino potencializar los efectos significativos que trae una metodología compuesta por varias herramientas integradas de manera simultánea, donde se puede inferir que no son excluyentes entre sí para lograr excelentes beneficios (Alvarez, 2015).

En este sentido se busca diseñar una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma que aporte al mejoramiento del desempeño de las PYMEs manufactureras.

2.6 Componentes de la Gestión por Procesos (GP)

La Gestión por Procesos(GP), es un criterio estructural en el mejoramiento continuo de las empresas, según Juan Bravo Carrasco, en su libro “Gestión de Procesos” se atreve a dar una definición de este componente dejando la claridad, que este campo de la ciencia aún se encuentra en formación y que se puede mejorar con la dinámica de la evolución empresarial, el desarrollo de la tecnología y la visión del mejoramiento continuo; de este modo define que “La Gestión de Procesos es una forma sistémica de identificar, comprender y aumentar el valor agregado de los procesos de la empresa para cumplir con la estrategia del negocio y elevar el nivel de satisfacción de los clientes”(Bravo C., 2009). También se identifica que “Las organizaciones son tan eficientes como lo son sus procesos” según lo expresa(Arias, 2013).

Cuando hablamos de la Gestión por Procesos, tenemos que tener presente que el objetivo de este componente es el incremento de la Productividad, teniendo presente el uso eficiente de los recursos (*input*), que es lo que ingresa al sistema y la entrega oportuna de la producción (*output*), que es lo que sale del sistema. De igual forma tenemos que este criterio está conformado por dos elementos, la gestión y los procesos, es por esta razón que se estudian ambos conceptos para identificar los componentes de valor para la propuesta de mejora integrando de las temáticas (LSS, I4.0 y PYMEs).

La Gestión, como respuesta de las actividades coordinadas para dirigir una organización, se puede ver reflejado en el planteamiento de la Norma ISO 9000:2000 (Bravo C., 2009), donde su estructura está enmarcada en la calidad, estructurado en el ciclo PHVA, el cual permite orientar a la empresa al mejoramiento continuo. Ver **Figura 17**.

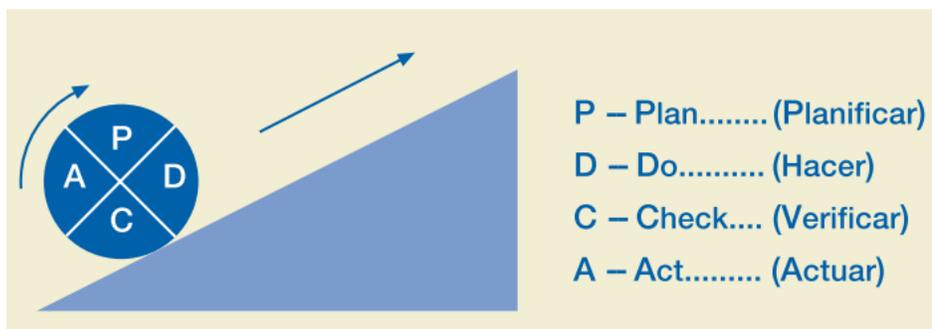


Figura 17. Ciclo de Gestión-Mejora continua.

Fuente: tomado de (ISO9000, 2000).

Este sistema de Gestión, representa un “esquema general de procesos y procedimientos que se emplea para garantizar que la organización realiza todas las tareas necesarias para alcanzar sus objetivos” (Beltrán et al., 2009). De este modo la gestión se representa como la capacidad que debe adquirir y desarrollar el líder, para el logro de las metas establecidas, para el mejoramiento del desempeño empresarial y la continuidad del negocio en el tiempo.

Proceso, existen varias definiciones de este criterio, de los cuales se tomarán dos que aportan valor al estudio:

“Cualquier actividad, o conjunto de actividades, que utiliza recursos para transformar elementos de entrada en resultados”(ISO9000, 2000).

“Organización lógica de personas, materiales, energía, equipamiento e información, diseñada para producir un resultado final, el cual debe cumplir unos requisitos previamente definidos por los clientes”(Arias, 2013).

El proceso es considerado como elemento de valor, para lograr una estructura empresarial en la lógica de la entrada de insumos, un sistema de transformación, en red de actividades, una salida que entrega de producción, además de una retroalimentación constante de información, de las entradas y las salidas, que permite el ajuste de las oportunidades de mejora, de modo que la calidad se vea reflejada en la evolución del mejoramiento en el tiempo. En la siguiente **Figura 18**, se presenta la arquitectura de un proceso.

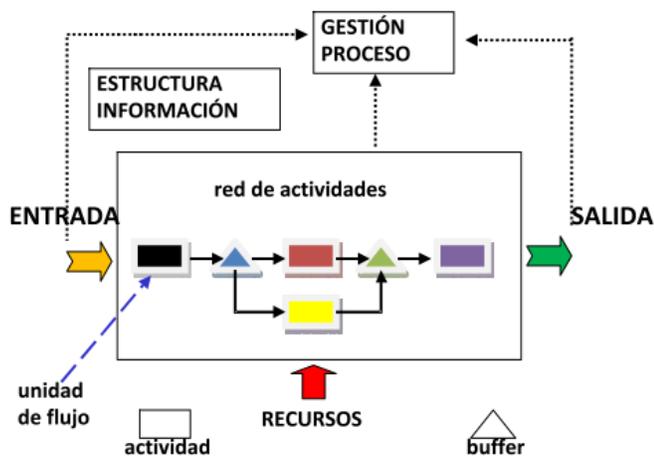


Figura 18. Arquitectura de un proceso.

Fuente: tomado de (Arias, 2013).

El criterio de proceso, es de mucha utilidad para la cultura organizacional orientada al mejoramiento continuo, ya que orienta por medio de una representación gráfica, lógica y estructurada, la forma como se ejecuta una actividad o tarea dentro de la organización, de modo que se pueda dar a conocer, comprender y cumplir, la forma como se realiza el trabajo por parte del capital humano, en función de los requerimientos pactados con los clientes.



Figura 19. Arquitectura de proceso aplicado al capital humano.
Fuente: tomado de (Bravo C., 2009) (Arias, 2013).

En la **Figura 19**, se puede identificar que el criterio de proceso, también tiene aplicabilidad en el desarrollo del capital humano, de modo que su proceso de formación este orientado al aporte de insumos de información para su capacitación, de modo que se promueva en el operario el conocimiento integral, para entregar al sistema productos de calidad; continuado con la misma dinámica, al desarrollar esta competencia de forma individual, podemos lograr que el equipo de trabajo, se encamine en función del conocimiento y esta formación logre el mejoramiento del desempeño del proceso.

2.6.1 Gestión por Procesos (GP)

Partiendo de lo expresado inicialmente, donde se define este componente como “la forma sistémica de identificar, comprender y aumentar el valor agregado de los procesos de la empresa para cumplir con la estrategia del negocio y elevar el nivel de satisfacción de los clientes”(Bravo C., 2009). Se realizará una descripción de los componentes que interactúan según su composición técnica. Ver **Tabla 20**.

Los componentes descritos en la **Tabla 20**, entran en el estudio, como aporte a la Gestión de los procesos dentro de la metodología integradora, además de complementar los factores de estudio descritos en el capítulo 1, se aclara que no todos los componentes hacen parte de la metodología integradora, pero es de gran importancia, tener una visión holística, de lo que dispone la comunidad científica en función de la GP, que aporte dentro del alcance de esta tesis.

Tabla 20. Componentes de la Gestión por procesos

COMPONENTE	DEFINICIÓN
Enfoque al cliente	Comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes
Liderazgo	Propósito, orientación para crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización
Participación del personal	Esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de esta
Enfoque basado en procesos	Resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso
Enfoque de sistema para la gestión	Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos
Mapa de procesos	Visión global de la organización, expresa gráficamente la relación entre la organización y las partes interesadas, y permite obtener información sobre las operaciones, las funciones y los procesos que se desarrollan en la misma. Representan las relaciones e interrelaciones dentro de la organización, con los clientes externos y proveedores
Mejora continua	Objetivo permanente de la organización
Proceso clave	Aquellos procesos que inciden, de manera significativa, en los objetivos estratégicos y que son críticos para el éxito del negocio
Subprocesos	Partes bien definidas en un proceso. Su identificación puede resultar útil para aislar los problemas que pueden presentarse y posibilitar diferentes tratamientos dentro de un mismo proceso
Macroproceso	Estructura de procesos que se desagregan en otros procesos
Proceso operativo	Son aquellos en que los productos resultantes son recibidos por una persona u organización externa a la organización
Procesos de apoyo	Son aquellos esenciales para una gestión de los procesos operativos
Procesos estratégicos	Son todas aquellas actividades realizadas por los gestores para mantener los procesos de apoyo y los operativos
Sistema	Estructura organizativa, procedimientos, procesos y recursos necesarios para implantar una gestión determinada
Actividad	Tiene sentido al interior del proceso y está asociada a un cargo específico
Tarea	Desarrollo de la actividad en acciones muy específicas
Procedimiento	Descripción detallada de una parte del hacer de la organización, puede ser un macroproceso, un proceso o algunas actividades
Regla	Parte de un reglamento interno
Norma	Estandarización con el medio con mayor o menor grado de obligatoriedad
Producto	Resultado de un proceso.
Cliente	Aquella persona u organización a quien servimos y de quien recibimos ingresos
Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos del cliente
Requisito	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria

Capacidad	Aptitud de una organización, sistema o proceso para realizar un producto que cumpla los requisitos
Eficiencia	Uso óptimo de los recursos utilizados
Eficacia	Extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados

Fuente: basado en (Bravo C., 2009)(Arias, 2013)(ISO9000, 2000).

2.6.2 La Gestión de procesos en la estructura organizacional

La relación del componente de la gestión por procesos con la estructura organizacional, es de mucho valor para el diseño de estrategias de mejoramiento; pero muy retador al momento de ponerlo en ejecución en el proceso real; es por esta razón que algunos autores recomiendan tener mucho cuidado con la implementación, ya que se puede caer en el error de que la estrategia se de en “tierra de nadie” y, ocasionalmente, la lideren los altos ejecutivos.(Bravo C., 2009). Generando una brecha, que limita el conocimiento y la ejecución de los procesos por parte del capital humano operativo; es por esta razón que la opción de externalización por medio de consultores que orienten la implementación, puede estar presente y es bastante viable, ya que este apoyo externo puede diseñar cambios con mayor libertad, sin tener las limitaciones que pueden tener los ejecutivos.

2.6.3 Gestión de procesos dentro de la dinámica de la empresa

Este componente podría ser desarrollado desde el departamento de gestión de calidad, investigación y desarrollo, planificación, organización, métodos o auditoría; con actividades como “levantamiento de los procesos, llevar registro de mapas y flujos, definir y comunicar los métodos, facilitar el mejoramiento continuo y cooperar en el rediseño de procesos. El ideal es que dependiera directamente de la Gerencia General o de un área de amplia autoridad dentro de la organización dedicada al cambio, podría ser una gerencia de desarrollo, de planificación o de sistemas de información, entre otras posibilidades.”.(Bravo C., 2009).

Finalmente, madurar en la Gestión a través de los Procesos es un desafío incremental que requiere compromiso de la organización entera, no sólo implica cambios operativos y tecnológicos sino también culturales que deben ser absorbidos por todo el personal.

2.7 Componentes de la Industria 4.0 (I4.0)

La Industria 4.0(I4.0), se define como un nuevo modelo industrial para la autoorganización y la autogestión de sistemas de producción totalmente automatizados, que aprenden autónomamente y que son interactivos, en los que el núcleo son las nuevas tecnologías digitales y las tecnologías de Internet; el papel de los humanos está limitado a su inicio, al control y mantenimiento técnico, lo que requiere nuevas competencias y especialistas industriales modernos, acompañado de cambios sociales (Sukhodolov, citado en MinTIC, 2019).

Los componentes descritos en la **Tabla 21**, complementan los factores de estudio descritos en el capítulo 1, de modo que aporten a la consolidación de un inventario más robusto de conceptos técnicos y tecnológicos, es de aclarar que no todos los componentes hacen parte de la metodología integradora y se decantaran los que se acoplen adecuadamente al desarrollo del objetivo de la tesis.

En la siguiente **Tabla 21**, se describirán algunos componentes tecnológicos de la I4.0.

Tabla 21. Componentes de la Industria 4.0

TECNOLOGÍAS	DEFINICIÓN
Internet de las cosas	(IIoT) permite la comunicación entre todos los dispositivos dentro y fuera de la fábrica
Análisis de Big Data	Se caracteriza por el volumen, la variedad y la velocidad (3V), y requiere nuevas técnicas de procesamiento y análisis de datos
Computación en la NUBE (cloud computing)	Acceso ubicuo a los datos desde diferentes dispositivos.
Simulación	Representación virtual de productos y procesos, a fin de identificar de antemano posibles problemas, evitando el desperdicio de costos y de recursos en la producción
Realidad aumentada	Creación de un entorno virtual en el que los humanos pueden interactuar con máquinas utilizando dispositivos capaces de recrear el espacio de trabajo
Robots autónomos	La interacción humano-robot puede permitir alta productividad
Fabricación o manufactura aditiva (Impresión 3D)	Conjunto de tecnologías que permiten producir pequeños lotes de productos con un alto grado de personalización al agregar en lugar de eliminar material de un bloque sólido
Ciber-seguridad	Área relacionada con la informática y la telemática que se enfoca en la protección de la infraestructura computacional y todo lo vinculado con la misma, y especialmente la información contenida en una computadora o circulante a través de las redes de computadoras

Integración horizontal y vertical del sistema	Las anteriores tecnologías deben ser compatibles con tecnologías básicas como los sensores y los actuadores, las tecnologías RFID (Identificación por Radiofrecuencia) y RTLS (Sistemas de Localización en Tiempo Real) y las tecnologías móviles, y con los siete principios de diseño denominados gestión de datos en tiempo real, interoperabilidad, virtualización, descentralización, agilidad, orientación al servicio y procesos empresariales integrados (Salkin, et al., 2018).
Nuevos materiales	Son más ligeros, sólidos, reciclables y adaptables, existen aplicaciones para materiales inteligentes que se auto reparan o se limpian a sí mismos, además de metales con memoria que vuelven a sus formas originales, cerámicas y cristales que convierten la presión en energía
Blockchain	Libro de contabilidad compartido, programable, criptográficamente seguro y confiable, que ningún usuario individual controla, pero que permite ser inspeccionado por todos
Bitcoin	Nuevo sistema de pago y moneda digital
Business intelligence	Conjunto de estrategias, aplicaciones, datos, productos, tecnologías y arquitectura técnicas, los cuales están enfocados a la administración y creación de conocimiento sobre el medio, a través del análisis de los datos existentes en una organización
Computación cuántica	Uso de cúbits en lugar de bits, dando lugar a nueva lógica que hace posible nuevos algoritmos
Nanotecnología	Estudio, diseño y manipulación de la materia en tamaños increíblemente pequeños, de modo que permite crear y mejorar productos con fines industriales, médicos, entre otros
Inteligencia artificial	Desarrollo de métodos y algoritmos que permiten comportarse a las computadoras de modo inteligente, permitiendo interpretar datos externos, para aprender de ellos y tomar decisiones
Machine learning	Desarrollo de técnicas que permiten que las computadoras aprendan
Secuencia del genoma	Investiga la manera en que las variaciones genéticas específicas pueden generar tratamientos particulares y detectar enfermedades
Biología sintética	Creación de circuitos biológicos a base de genes que permitan programar células o microorganismos.
Ingeniería genética	Manipular con precisión el genoma humano en embriones, esto significa que es probable que en el futuro lleguemos a ver el nacimiento de bebés de diseño que poseerán rasgos particulares o serán resistentes a una enfermedad específica

Fuente: basado en (Velásque et al., 2019)(Chinchilla et al., 2020)(Velasco et al., 2020).

Este componente trae desafíos en los cambios de mentalidad de los empresarios, los cuales ven con expectativas las nuevas tecnologías y sus beneficios; pero reconocen que hay desafíos para su implementación como presupuesto, falta de cultura y desconocimiento (Velasco et al., 2020).

En la siguiente **Figura 20**, se presenta una idea de cómo es el conocimiento de algunas de estas tecnologías, en el sector de los empresarios colombianos. Donde se identifica que *Cloud Computing*, *Business Intelligence* y *Analítica de Datos*, son

las tres tecnologías que conocen y utilizan; mientras que Materiales Avanzados, Computación Cuántica y Biotecnología, son las tres tecnologías menos conocidas.

En general los empresarios conocen las tecnologías, pero a la fecha son muy pocos los que la utilizan.

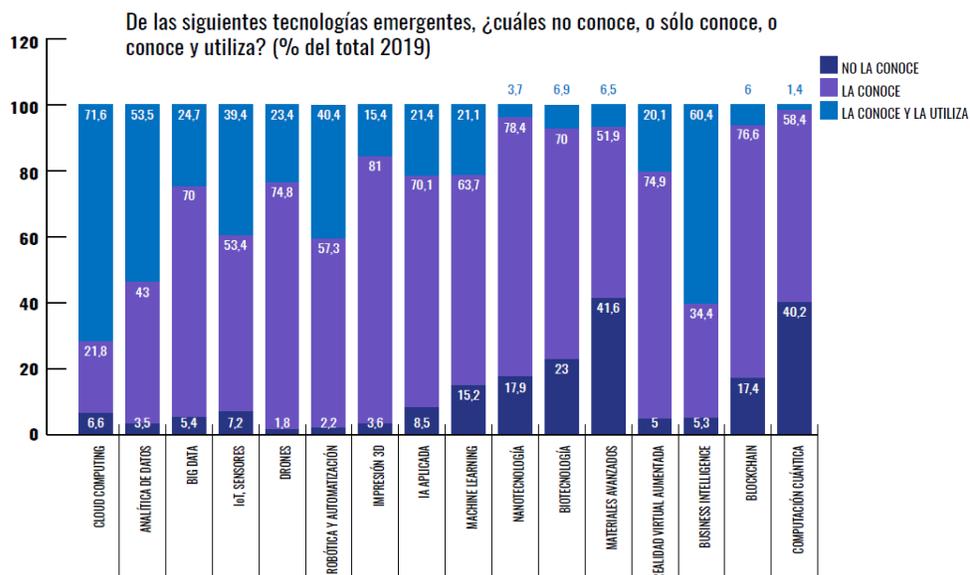


Figura 20. Conocimiento y uso de las tecnologías Industria 4.0

Fuente: basado en encuesta de transformación digital ANDI, 2019. (Velasco et al., 2020).

Como acciones orientadoras a la implementación de estas tecnologías en el sector industrial, se pueden referenciar algunas estrategias que van teniendo impacto, públicas y privadas, entre estas están, en el sector público el gobierno está promoviendo Los Centros de Transformación Digital Empresarial (CTDE) y el programa Nuevas Experiencias Tecnológicas (N.EX.T) (Velasco et al., 2020).

A nivel privado se desarrolla la metodología *Business Process Management Systems* (BPMS) (Rodríguez & Alpuin, 2014).

Los Centros de Transformación Digital Empresarial (CTDE), tiene como objetivo el desarrollo de capacidades e implementación tecnológica en las PYMEs, de modo que les ayude a lograr los objetivos tecnológicos, dando origen a un plan de transformación digital; es de anotar que esta estrategia, cuenta con la conexión al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT) (Velasco et al., 2020).

El programa “Nuevas Experiencias Tecnológicas (N.EX.T)”, está enfocado en incrementar la adopción de tecnología en sectores industriales tradicionales para

umentar las capacidades en el desarrollo de tecnología emergentes y conectar la oferta con la demanda tecnológica (Velasco et al., 2020).

La metodología *Business Process Management Systems* (BPMS). Partiendo de la necesidad de implementar tecnología como habilitador del mejoramiento continuo, esta metodología tiene como objetivo fundamental facilitar la gestión por procesos dentro de la organización, por medio del uso de la tecnología, permitiendo a las empresas modelar, simular, implementar, ejecutar y monitorear procesos de cualquier naturaleza, ya sea dentro de una unidad o en forma transversal a varias de ellas, interactuando con trabajadores, sistemas, clientes, proveedores y otros agentes externos como participantes de las actividades que componen los diferentes procesos (Rodríguez & Alpuin, 2014).

En la siguiente **Tabla 22**, se pueden evidenciar las etapas que contemplan un modelo para la implementación del BPMS, de modo que de forma cronológica se pueda llegar a la optimización y el mejoramiento continuo de los procesos empresariales.

Tabla 22. Modelo adopción de BPMS

	Iniciación	Definición	Automatización	Integración y Monitoreo	Optimización y Mejora continua
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> La organización identifica sus procesos principales haciendo foco en las actividades a ser ejecutadas por las distintas áreas funcionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Los procesos son conocidos y están documentados. Se identifican "dueños" de procesos como figuras de referencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Los procesos están automatizados y montados sobre una herramienta BPMS 	<ul style="list-style-type: none"> Los procesos se encuentran integrados y se monitorea su desempeño. Los "dueños" de procesos adquieren poder de decisión y responsabilidad por los resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> Los procesos se monitorean en forma centralizada. Se trabaja en la optimización y mejora continua de los procesos.
Tecnología y herramientas	<ul style="list-style-type: none"> La organización no utiliza herramientas para el modelado de procesos. Cuando éstos se documentan, se utilizan herramientas tradicionales (descripción literal, tablas de actividades, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> La organización utiliza herramientas de modelado de procesos, define indicadores de desempeño e identifica roles vinculados a la gestión de cada proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> La organización incorpora herramientas BPMS para la automatización de sus procesos, la gestión de reglas de negocio y el intercambio electrónico de documentos. 	<ul style="list-style-type: none"> La herramienta BPMS integra los diferentes sistemas y facilita la integración con agentes externos. Se incorporan herramientas para el monitoreo de actividades y acuerdos de servicio. Se comienzan a utilizar herramientas de BI para el análisis de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> La organización incorpora herramientas avanzadas para el monitoreo de procesos Se utilizan herramientas avanzadas de BI para procesamiento de datos y obtención de información analítica. Se incorporan herramientas de simulación para la optimización de los procesos.
Factores críticos de éxito	<ul style="list-style-type: none"> Creación de conciencia de procesos dentro de la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> Colaboración efectiva entre las áreas de negocio y TI. Capacitación de actores claves. 	<ul style="list-style-type: none"> Capacitación y gestión del cambio durante la implementación. Generación de resultados rápidos y visibles. Liderazgo y patrocinio de la Dirección. 	<ul style="list-style-type: none"> Empleados con conocimiento sobre la gestión transversal de procesos. Definición de responsables para el monitoreo y corrección de desvíos. Liderazgo y patrocinio de la Dirección. 	<ul style="list-style-type: none"> Incorporación del cambio como una constante en la organización. Descentralización en la toma de decisiones. Roles y responsabilidades claramente comprendidos.

Fuente: Tomado de (Rodríguez & Alpuin, 2014).

Finalmente, se puede inferir del estudio del material expuesto en el numeral 2.7. que la Industria 4.0, es tecnología al servicio de los modelos de gestión, los cuales traen fortalezas para los empresarios que emprenda su implementación de forma oportuna, como toda nueva tecnología, tiene sus desafíos, pero a medida que pasa el tiempo se va teniendo la claridad de sus aportes, y como ayuda a la supervivencia de las empresas en el futuro.

2.8 Componentes de Lean Six Sigma (LSS)

Lean Six Sigma (LSS), es una metodología integrada por dos conceptos, Lean (*Lean Manufacturing*) y *Six Sigma*, esta metodología tiene gran acogida en el sector empresarial, por su aporte al mejoramiento de los procesos; que van desde la disminución de los desperdicios de la producción, la generación de la cultura organizacional, control del proceso, mejoramiento de la calidad, entre otros.

Lean (*Lean Manufacturing*), se derivó del Sistema de Producción Toyota (TPS)(M. Kumar et al., 2006) desarrollado por Taiichi Ohno, después de la segunda guerra mundial en Japón en la década de 1940(Alexander et al., 2019). Esta metodología busca eliminar el desperdicio de las actividades del procesos productivo, bajo el criterio de categorizar las actividades que agregan valor (VA), que son aquellas que el cliente estaría dispuesto a pagar y las actividades que no agregan valor (NVA) las cuales se consideran un desperdicio (MUDA)(Jones & Womack, 1985), desperdicios caracterizados en siete, sobreproducción, tiempos de espera, transporte, reprocesos, inventarios innecesarios, defectos, movimientos innecesarios(Matías & Idoipe, 2013).

Six Sigma, tiene su origen desde los criterios de Deming para el mejoramiento de la calidad, posteriormente estudiando en la empresa Motorola, como herramienta de mejoramiento de procesos de calidad (Smith B. 1985) (Harry M. 1991), enfocada en la reducción de la variabilidad de los procesos, aplicando criterios estadísticos, miden su desempeño en función de la disminución de los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) y su gestión por medio del modelo Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar (DMAIC).

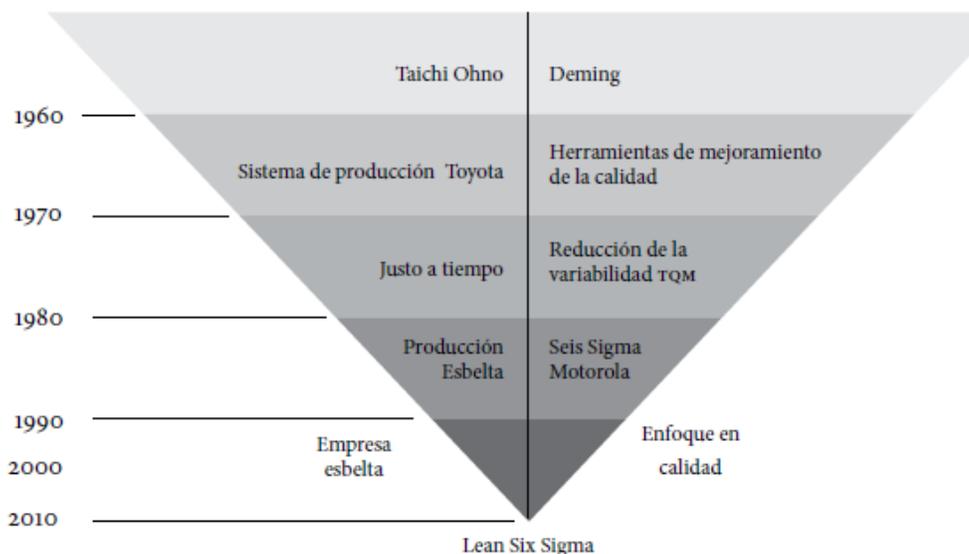


Figura 21. Historia Lean Six Sigma.
Fuente: Tomado de (Leansigma.com, 2014).

En la **Figura 21**, se identifica la evolución del criterio LSS, concepto que primero se debe profundizar en las metodologías que la preceden, ya que de esta manera se puede comprender en qué puntos difieren la una de la otra y en cuáles convergen, así como también permite conocer sus herramientas, cuáles son sus enfoques y en resumen por qué se unificaron para dar origen a esta metodología.

Al funcionar las dos ciencias, nace el criterio Lean Six Sigma (LSS) como metodología integral de alto desempeño, en la siguiente **Tabla 23**, se describirán algunos componentes de Lean Six Sigma, que complementan los factores de estudio vistos en el capítulo 1.

Tabla 23. Componentes Lean Six Sigma

Metodologías	DEFINICIÓN
DMAIC	Metodología principal para solucionar problemas que utiliza Six Sigma, definir, medir, analizar, mejorar (improve) y controlar.
VSM - Mapeo de la cadena de valor Los	Herramienta de papel y lápiz que ayuda a ver y entender el flujo de material e información de cómo un producto o servicio recorre su camino a través de la cadena de valor, es decir de principio a fin. La comprensión de cómo varias actividades están interconectadas y donde podrían estar fallando las conexiones o actividades, es decir reconocer el desperdicio y reconocer sus causas (Womack et, al., 1996).
5's	Cinco palabras japonesas que comienza por la letra S. Seiri: (Organización), Seiton: (Orden), Seiso: (Limpieza), Seiketsu: (Estandarizar), Shitsuke: (Disciplina). es considerado el primer paso para la transformación del sistema de producción (Tapping,2003).

Trabajo estandarizado	Estandarización para propiciar los medios por los cuales, las operaciones de manufactura se realicen siempre de una misma forma.
KPI's – OEE	Indicadores críticos del proceso – Eficiencia global del equipo, son indicadores de salida de la capacidad del proceso, para facilitar la toma de decisiones.
SMED	Técnicas diseñadas para realizar las operaciones de cambio de herramienta en menos de 10 minutos (Shingo, 2014).
Poka Yoke	Técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar (Maldonado, 2014).
TPM	Mantenimiento Productivo Total, sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos (Masaji y Gotoh, 1992).
Just in Time	Base del movimiento Lean, es el resultado final de aplicar el sistema de producción de Toyota en todas las divisiones de la compañía. Es una filosofía que define la forma en que debería optimizarse un sistema de producción.
Kanban	Sistema de información, que conecta de forma armónica y eficiente los procesos a través de la cadena de producción, entregando los productos correctos en la cantidad correcta y en el momento correcto (Maldonado, 2014).
Kaizen	Palabra japonesa compuesta por dos palabras, una kai que significa cambio y la otra zen que significa bueno, mejor, lo que implica que kaizen signifique cambio para mejorar (Maldonado, 2014).
Análisis de Varianza, ANOVA	Análisis estadístico denominado análisis de varianza (ANOVA), permite probar la hipótesis que se plantea en un diseño de un factor con dos o más niveles sobre las diferencias entre tratamientos.
Cuadro de Mando Integral, BSC	Herramienta de control empresarial que permite establecer y monitorizar los objetivos de una empresa y de sus diferentes áreas o unidades.
La Voz del Cliente, VOC	Herramienta que sirve para alinear todas las actividades de la organización hacia la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes. Con ella se busca mejorar la coordinación interna, reducir los procesos ineficientes y, en definitiva, aumentar la rentabilidad y la lealtad de los clientes (Fundibeq, 2014).
Diseño de Experimentos, DOE	Fue desarrollado en los años 20 por sir Ronald Fisher en el centro de investigación agrícola de campo de Rothamsted en Londres, Inglaterra. Sus experimentos iniciales fueron referidos a determinar el efecto de varios fertilizantes sobre diversas parcelas de tierra (Velasco, 2013).
Control Estadístico de Procesos, CEP	Método general es prescriptivo y descriptivo, no es analítico. Al controlar estadísticamente los procesos no se trata de moldear la distribución de datos reunidos en un proceso dado. Lo que se trata es de controlar el proceso con ayuda de reglas de decisión que localicen discrepancias apreciables entre los datos observados y las normas del proceso que se controla (Álvarez, 2014).
Herramientas estadísticas	Herramientas estadísticas permiten alcanzar un conocimiento profundo de las necesidades de los clientes y del comportamiento de los procesos.
Gráfica de control	Diagrama que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para asegurar que se mantenga en esa condición.
Histograma	Representación gráfica para datos continuos que más se conoce (Zavaleta, 2014).

Diagrama de Pareto	Gráfico de barras que tiene un nombre especial y que se utiliza con el propósito de organizar y de priorizar las causas asociadas a un problema.
Diagrama de causa-efecto	Herramienta útil cuando se necesita explorar y mostrar todas las causas posibles de un problema o una condición específica.
Diagrama de flujo de procesos	Herramienta que tiene su origen en la ingeniería y fue profusamente promocionada en el contexto de la diagramación de algoritmos computacionales.

Fuente: basado en (Matías & Idoipe, 2013) (Felizzola & Luna, 2014) (Hernández & Uscanga, 2015).

Finalmente, LSS es un concepto que dispone de múltiples metodologías para atender el proceso empresarial desde diferentes perspectivas, con el potencial de mejorar sus índices de calidad, productividad y cultura organizacional.

2.9 Consolidado paralelo de componentes GP, I4.0, LSS en función de la estructura operativa PYMEs

El estudio detallado de las temáticas definidas en esta investigación, permite la consolidación de los componentes que agregan valor a la propuesta de mejoramiento del desempeño PYME, es por esta razón que en la **Figura 22**, se construye la base de elementos metodológicos, que sirve como estructura sólida, en la construcción de una propuesta de mejora, que integre los conceptos de GP, I4.0 y LSS en función de las PYMEs.

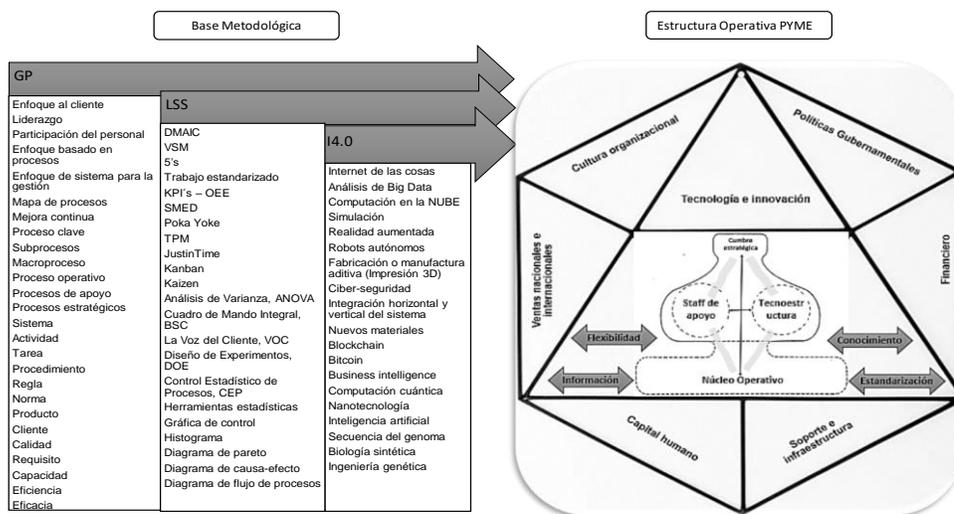


Figura 22. Componentes Metodológicos Orientados al Mejoramiento PYMEs.

Fuente: elaboración propia.

El modelo se caracteriza por consolidar de forma holística, algunas de las metodologías disponibles con las que cuentan las temáticas de estudio (GP, I4.0, LSS) y la presentación de la estructura PYME definida como acorde para la intervención en esta investigación. Esta construcción descrita en la **Figura 22**, se caracteriza por consolidar un inventario robusto de múltiples metodologías que ofrece la comunidad científica, con el potencial de aplicarlo para el mejoramiento del desempeño de las organizaciones; posteriormente en el desarrollo del siguiente capítulo, se busca realizar una selección particular, de los componentes que mayor capacidad de acople y mayor beneficio representen para las PYMEs manufactureras (mediana empresa), de modo que permita la consolidación de estos componentes en la metodología integradora.

A través del desarrollo del **capítulo 2**, se determina la estructura operativa PYME, su ecosistema empresarial y atributos que ayuden su adaptabilidad en el entorno; teniendo presente los componentes técnicos que se han desarrollado a lo largo de la historia. También se caracterizaron los componentes de Gestión por procesos, Industria 4.0 y Lean Six Sigma; consolidando una base teórica y estructurada en componentes técnicos y científicos, que respalden la construcción de una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios del Lean Six Sigma que aporte al mejoramiento del desempeño de las PYMEs manufactureras.

3. Metodología integradora (LSS-I4.0-PYMEs)

Este capítulo tiene como fin, la construcción de un prototipo que describa la metodología integradora GP, I4.0, LSS, para el mejoramiento de las PYMEs.

Su desarrollo tendrá sus cimientos en los componentes técnicos y bibliográficos, elaborados en el capítulo anterior, ver **Figura 22**, donde se consolida una matriz, con el inventario disponible de los elementos que aplican y agregan valor de cada una de las temáticas de estudio (GP, LSS, I4.0 y PYMEs), lo cual permite evidenciar de forma holística este inventario y facilitar la selección de los componentes particulares que requiere la construcción de la metodología integradora. Posteriormente, se aplicará la metodología de matriz de esfuerzo e impacto, la cual permite la identificación específica de las técnicas y tecnologías que le aportaran al objeto de estudio.

También se tomara como componente metodológico y aporte a la construcción de la metodología integradora, lo presentado en el libro “Metodología de la Investigación de Sampieri, en su capítulo 14, recolección y análisis de los datos cualitativos” (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para finalmente, definir los componentes metodológicos que sirven como fundamento para la elaboración del prototipo, que de origen al "Diseño de una metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras".

En la **Figura 23**, se modela un mapa mental que orienta los componentes a desarrollar y donde se quiere llegar con el desarrollo del capítulo.

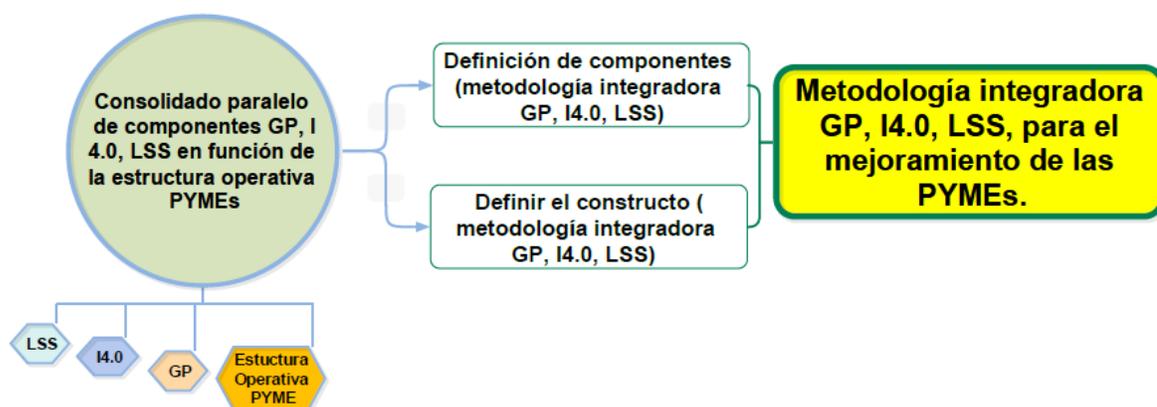


Figura 23. Metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.

Fuente: elaboración propia usando MindMapper.

La metodología integradora GP, I4.0, LSS, para el mejoramiento de la PYMEs, tiene la posibilidad de ser aplicada con diferentes objetivos de mejora en las PYMEs, acogiéndonos a uno de los principios de la filosofía Lean “El Elefante hay que comérselo a pedazos” (Matías & Idoipe, 2013), lo que significa que debe enfocarse en intervenciones focalizadas y no generales de los procesos de producción, ya que se tienen resultados de mayor impacto con el menor esfuerzo; de este modo se define como acotar el alcance de la intervención de esta metodología de mejoramiento de la estructura operativa PYME, como base estructural para soportar y mantener el mejoramiento continuo, y el sistema de producción de una empresa PYME (Mediana Empresa) dedicada a la manufactura.

3.1 Proceso elaboración metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.

Para llegar a la metodología integradora, se puede declarar que es una construcción que se viene elaborando desde el inicio de esta tesis de maestría; en el capítulo 1, el estado del arte, proporciona la idea clara, de que las PYMEs son importantes para el equilibrio económico social (Alexander et al., 2019), donde todo los mejoramientos en función de las PYMEs, impactan directamente en un bien común, también se identificó el vacío en publicaciones científicas en la integración de las temáticas de estudio (LSS, I4.0, PYMEs), donde establece la idea clara y la ruta a la construcción de una metodología integradora de estos componentes en función a las PYMEs. Luego en el capítulo 2, se construye un inventario de componentes técnicos con base en las temáticas de estudio (GP, LSS, I4.0, PYMEs), este inventario proporciona la materia prima, que sirve como bases para la metodología propuesta, para que en el capítulo 3, se puede construir el prototipo.

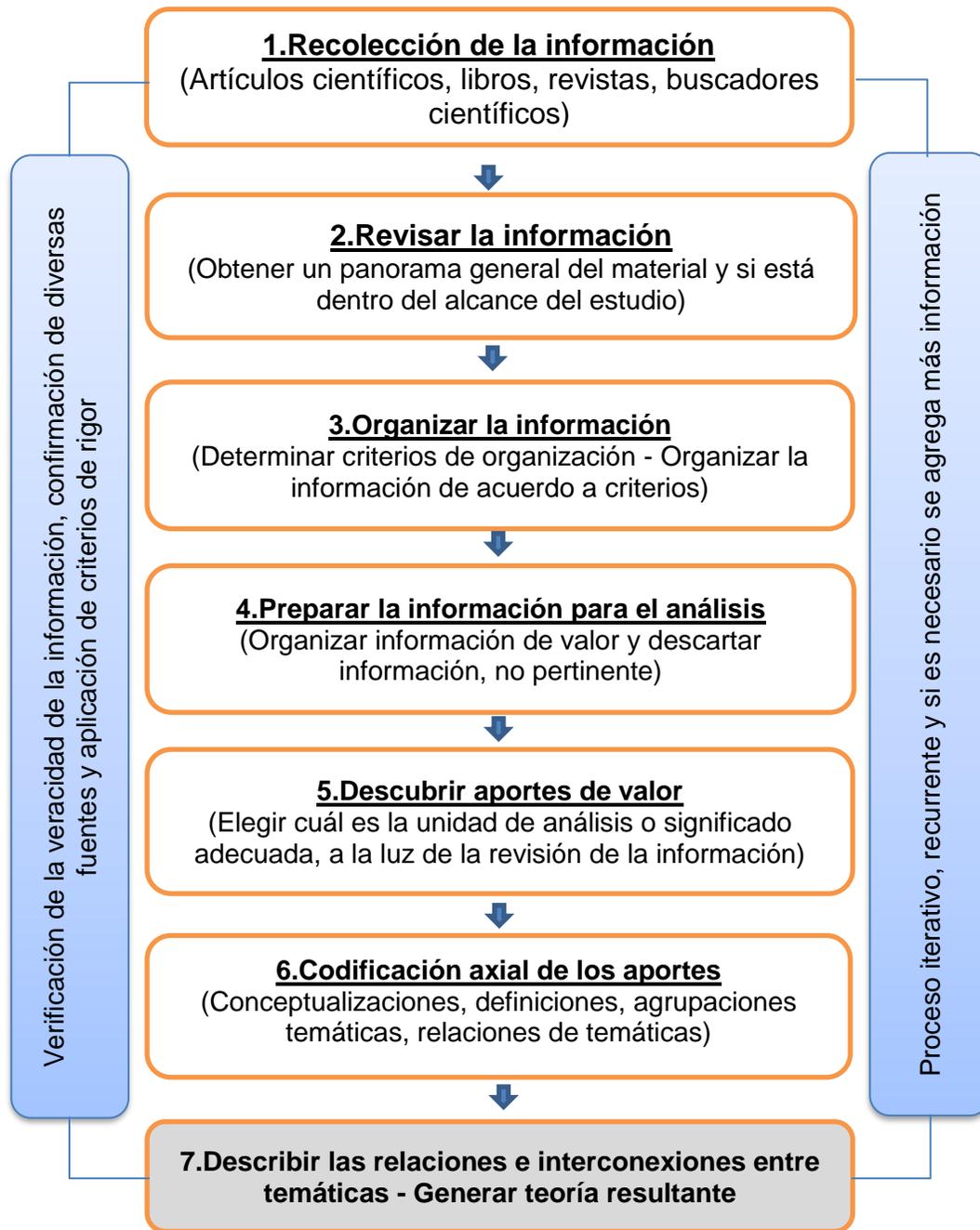


Figura 24. Proceso elaboración metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.
Fuente: elaboración propia, basado en (Hernández Sampieri et al., 2014).

Según la **Figura 24**, se presenta el proceso con las etapas que proporcionan la guía en la construcción de la metodología integradora.

3.1.1 Recolección de la información

La primera etapa, es la recolección de la información, la información que sirve como punto de partida para la construcción de la metodología integradora, se origina en la Revisión Sistemática de la Literatura, que proporciona la base para la presentación del estado del arte, esta construcción está fundamentada en las temáticas de estudio definidas (LSS, I4.0, PYMEs). En el **Anexo B**. se presenta mediante un diagrama de Pareto, la proporción general de los factores de estudio que proporcionaron los artículos científicos estudiados.

En **capítulo 1**, se ordena esta información hasta llegar a una descripción específica por temática, a través de la clasificación los factores de estudio, se define la materia prima, que sirve como punto de partida y fundamentación inicial, para ir dándole estructura a la metodología integradora. En la **Tabla 4**, se relacionan los factores de estudio relacionados con las PYMEs, en la **Tabla 5**, los relacionados con LSS y en la **Tabla 6**, los relacionados con I4.0, estos factores de estudio, definieron el punto de partida para la caracterización de los componentes temáticos de la estructura integradora en el **capítulo 2**.

3.1.2 Revisar la información

En la etapa de revisión de la información, se estudia el material clasificado en el **capítulo 1**, y con la ayuda de la literatura científica, se complementa la información, enriqueciendo los factores de estudio disponibles que, a partir de este desarrollo, llamaremos “componentes”, los cuales proporcionan la información para completar un inventario de componentes relacionados con las temáticas de estudio definidas (GP, LSS, I4.0, PYMEs).

En el **capítulo 2**, se logra desarrollar como construcción relevante de la estructura integradora, la estructura operativa PYME, ver **Figura 16**, donde se propone, una estructura organizacional, que tiene en cuenta su capacidad de adaptarse a las variables del entorno y soportar las dinámicas y desafíos que trae el mejoramiento continuo. También, se logra la consolidación de los componentes de la GP, ver **Tabla 20**, los componentes de la I4.0, ver **Tabla 21** y los componentes del LSS, ver **Tabla 23**.

3.1.3 Organizar la información

Luego de revisar que la información consolidada, cumpliera con el requisito de estar dentro del alcance del estudio, según los objetivos establecidos en esta tesis, se

consolida un inventario de los componentes que tienen potencial en la aplicación de la metodología integradora y se organiza de forma holística para su fácil identificación e interpretación, de modo que se pueda seleccionar los elementos de valor de forma aterrizada a la naturaleza de las PYMEs.

Es por esta razón, se en el **capítulo 2**, se presenta la información organizada en el esquema “Componentes Metodológicos Orientados al Mejoramiento PYMEs”, ver **Figura 22**.

3.1.4 Preparar la información para el análisis

En el desarrollo de esta etapa, se toma la información disponible en el inventario de la **Figura 22**, y con la ayuda de la metodología de la matriz de esfuerzo e impacto, se logra decantar la información o componentes de valor, que aportan específicamente a la propuesta integradora.

A continuación, se presenta el desarrollo de la matriz de esfuerzo e impacto.

La matriz de esfuerzo e impacto es una herramienta de priorización de componentes, proyectos o actividades, que se utiliza en la intervención de eventos Kaizen para el mejoramiento de los procesos; esta metodología se caracteriza por aceptar la calificación de los participantes del proceso de mejora o de expertos en el tema, en función de una categoría de valor preestablecida, que sirve para calificar cada una de las características y al final ponderar las actividades que impactan positivamente la mejora del proceso, y el esfuerzo que se requiere para lograrlo (Arias, 2013).

También, se toma como referencia la muestra de casos tipo, enfocando la participación de expertos, donde el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad, ni la estandarización (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para el desarrollo de la metodología se presentan los siguientes pasos:

- **Construcción del formulario de calificación**

En el **Anexo C**, se describen los componentes de cada uno de los factores a calificar, estos componentes fueron definidos en (**Figura 22**, numeral 2.10, capítulo 2).

El **Anexo C**, presenta específicamente el formulario, donde se especifica cual es el objetivo de la calificación, el perfil del experto, la escala de calificación, las técnicas y tecnologías a calificar.

Tabla 24. Escala de calificación

Esfuerzo	Puntaje	Impacto	Puntaje
Muy bajo	10	Muy alto	50
Bajo	20	Alto	40
Moderado	30	Moderado	30
Alto	40	Bajo	20
Muy alto	50	Muy bajo	10

Fuente: elaboración propia en Excel.

En la **Tabla 24**, se define una escala de calificación numérica, la cual se parametriza en rangos de 10, para facilitar su registro en los cuadrantes del plano cartesiano.

El criterio de calificación se orienta a través de las técnicas y tecnologías que representen mayor esfuerzo en las aplicaciones en PYMEs, tendrán calificaciones más altas, las que faciliten su aplicación, tendrán calificaciones bajas, siendo estas las de mayor atractivo para incorporar en el prototipo de metodología integradora.

Con respecto a la calificación del impacto, el criterio radica en calificar con menor puntaje las técnicas y tecnologías, que representen el mínimo impacto en el mejoramiento de las PYMEs, y con mayor puntaje las que representen el mayor impacto o beneficio en las implementaciones, las cuales tienen el mayor potencial para integrar el objeto de estudio de este capítulo.

- **Calificación del formulario**

Para la calificación del formulario, se tiene presente el criterio de tres profesionales expertos en las técnicas y tecnologías en **GP, LSS, I4.0**. En el **Anexo D**, se puede observar el perfil de los profesionales participantes en la calificación.

La calificación se desarrolla, con el envío de los formularios de forma digital a los expertos, donde estos, realizaron su calificación y enviaron nuevamente su respuesta para una posterior consolidación; esta información será el insumo para la construcción del grafico que permitirá evidenciar las técnicas y tecnología aplicables a la metodología integradora.

En el **Anexo E**, se puede evidenciar el consolidado de la calificación de los expertos, la cual se deriva de un promedio aritmético de la calificación realizada por cada uno.

- **Grafica de cuadrantes**

Con base a la información consolidada en la calificación de los expertos, se grafican los resultados, esta grafica está fundamentada en el uso de un plano cartesiano de dos ejes X = (0:50), Y = (0:50), el cual se divide en cuatro cuadrículas proporcionadas al 50%, permitiendo su categorización, ver **Figura 26**.

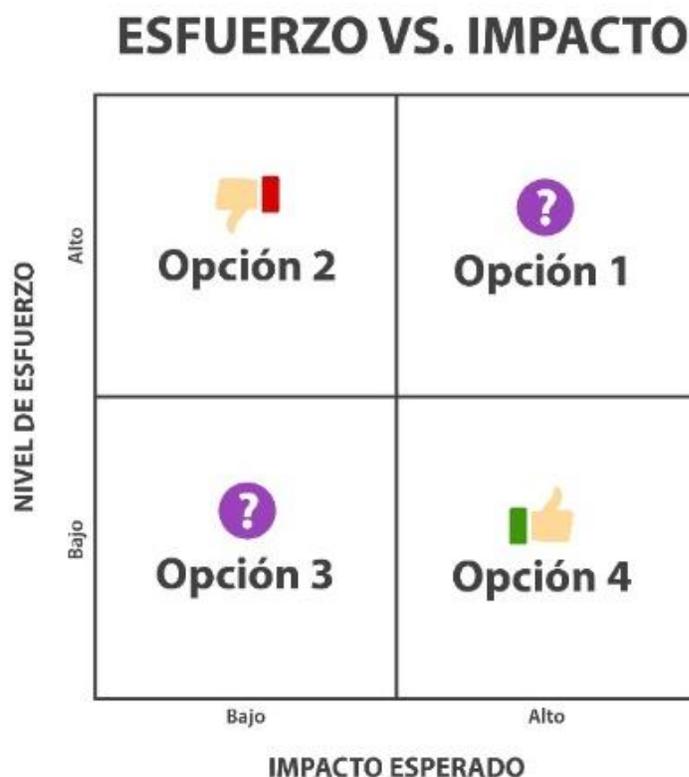


Figura 25. Categorización de cuadrantes.

Fuente: basado (Arias, 2013).

Los resultados de graficar cada uno de los elementos evaluados, se presentan en la **Figura 26**.

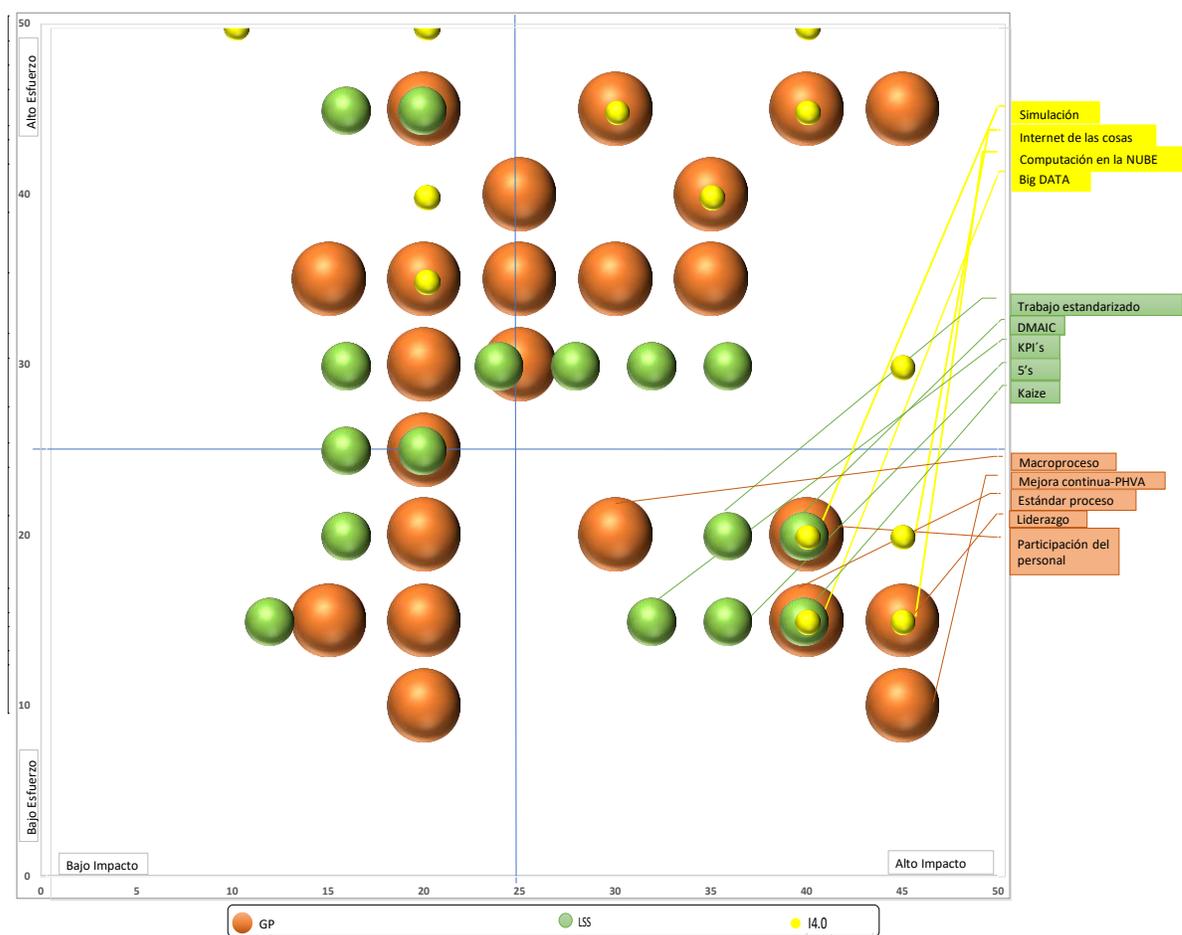


Figura 26. Categorización Esfuerzo e Impacto.

Fuente: elaboración propia en Excel.

Al graficar las técnicas y tecnologías, se logra identificar según los cuadrantes la siguiente calificación.

Bajo esfuerzo, bajo impacto: LSS (VSM, Poka Yoke, ANOVA, Kanban, Control Estadístico de Procesos, Diagrama de flujo de procesos), GP (Enfoque basado en procesos, Subprocesos, Actividad, Tarea, Producto, Requisito, Eficacia, Enfoque de sistema para la gestión, Regla, Calidad). Componentes de la I4.0, no se presentan en este cuartil. Estas metodologías representan poco aporte, ya que sus componentes son de poco impacto en el aporte a las PYMEs.

Alto esfuerzo, bajo impacto: LSS (TPM, Justin Time, Kanban, Diagrama de Pareto). GP (Cliente, Proceso operativo, Proceso clave, Subprocesos, Producto, Eficacia, Capacidad). I4.0. (Realidad aumentada, Criptomoneda, Computación cuántica, Nanotecnología, Blockchain, Secuencia del genoma, Biología sintética, Ingeniería genética). Suelen

representar un alto costo y no se logra el beneficio esperado, lo que representa un rechazo para el uso en las PYMEs.

Alto esfuerzo, Alto impacto: LSS (La Voz del Cliente, Cuadro de Mando Integral, Diseño de Experimentos, Cambio de referencia en menos de 10 minutos, Herramientas estadísticas, Gráfica de control, Histograma, Diagrama de causa-efecto). GP (Procesos de apoyo, Enfoque al cliente, Procesos estratégicos, Eficiencia, Sistema, Norma) I4.0. (Robots autónomos, Ciber-seguridad, Integración horizontal y vertical del sistema, Nuevos materiales, Sistemas Ciber físicos, Fabricación o manufactura aditiva (Impresión 3D), Inteligencia artificial). Estos componentes suelen ser atractivos para la implementación en PYMEs, pero su alto costo dificulta su adquisición.

Bajo esfuerzo, Alto impacto: LSS (DMAIC, Kaizen, Trabajo estandarizado, 5's, KPIs). GP (Mejora continua-PHVA, Liderazgo, Participación del personal, Macroproceso, Estándar proceso). I4.0. (Internet de las cosas, Análisis de Big Data, Computación en la NUBE, Simulación). Los componentes ubicados en este cuartil, representan el potencial más representativo para la implementación en las PYMEs, por su posibilidad de adquisición y el alto impacto que representan en el mejoramiento.

Se puede inferir que los componentes que aportan a la metodología que se quiere diseñar en el alcance de esta tesis, son potencialmente atractivos los representados con el criterio de bajo esfuerzo y alto impacto.

3.1.5 Descubrir aportes de valor

Siguiendo con la consolidación de las partes que conforman la construcción del prototipo de la metodología integradora, se pretende adicionar en los siguientes aportes de valor, con relación a los componentes técnicos y tecnológicos desarrollados en las etapas anteriores.

Los aportes son conformados, por seis criterios que se han desarrollado en el transcurso del estudio de las temáticas definidas en la tesis.

Estructura Operativa PYME, desarrollada en el **capítulo 2, Figura 16**, que se adapta a la naturaleza de las PYMEs y que se configura con criterios de valor, que ayudan a la implementación de metodologías de mejoramiento y adaptación a las necesidades y dinámicas del entorno.

Diagnóstico, representa un escenario claro del proceso a intervenir, de modo que oriente a la gerencia con información, que permita priorizar la intervención, de modo que se pueda socializar al personal involucrado, con respecto a las intervenciones que se estarán dando en el proceso y participación en las acciones de mejora.

Intervención, define el estándar del proceso en un Diagrama de Flujo, que sirva como guía para la ejecución del proceso y de capacitación del personal; además de punto de partida para la retroalimentación. Se apoya en el ciclo DMAIC.

Retroalimentación, donde verifica la capacidad del proceso en cantidad y calidad, entregando información en línea, para la construcción de KPIs en Dashboard.

Ajuste, se definen las metas, límites de alarma y proyectos de mejoramiento, de modo que se logre definir la acción de mejora para implementar el proceso operativo. Se apoya en el ciclo PHVA.

Mejoramiento, intervención del proceso para implementar acciones de mejora. Se apoya en los principios 5S y Kaizen.

Todos estos elementos trabajan en ciclo, para llegar al mejoramiento continuo y el aumento del desempeño PYME.

3.1.6 Codificación axial de los aportes

Las conceptualizaciones y agrupaciones que dan origen a la metodología integradora se describen a continuación.

- Herramienta Diagnóstica

Propósito: la construcción de un escenario claro del proceso a intervenir.

Composición: está compuesta por tres fases, primero, la aplicación de una lista de chequeo, segundo, la visión de la gerencia, tercero, definición de la intervención.

Liderazgo: Ingeniero Industrial o Consultor en el área de mejoramiento, contratado por la empresa en tiempo completo o por prestación de servicio (**Staff de apoyo**), Gerencia o en quien delegue.

Modo de uso: por medio de una lista de chequeo, la gerencia o en quien delegue, realiza un diagnóstico en función de los siguientes criterios.

- Estado de la estructura actual de la empresa, con respecto a la estructura operativa PYME propuesta por el modelo.
- El conocimiento y aplicación de temáticas GP, LSS, I4.0, que para el alcance de esta metodología se participa con GP (ciclo PHVA, Estándar del proceso, Liderazgo, Participación del personal), LSS (5S, Kaizen, DMAIC, KPIs), I4.0 (IoT, Sistemas Ciber físicos, Computación en la NUBE, Big Data, Dashboard).

- Capacidad de los procesos, cuales representan mayores desafíos en su desempeño y tienen mayor oportunidad de mejora.

Resultados: al tener un concepto claro del proceso a intervenir, la gerencia informa al personal involucrado, para su conocimiento en las intervenciones que se estarán dando en el proceso y participación en las acciones de mejora.

- Sistema Regulator

Propósito: definir estándar del proceso mejorado en Diagrama de Flujo.

Liderazgo: Staff de apoyo.

Composición: el sistema regulador, aporta la función de definir parámetros documentados para dar guía en la ejecución del proceso, siguiendo la metodología DMAIC.

Definir (Descripción del proceso)

Medir (Medir etapas del proceso)

Analizar y mejorar (Simulación)

Controlar (Estandarización del proceso)

Modo de uso: con la claridad del proceso a intervenir, se aplica una serie de actividades para intervenir el proceso:

- Descripción del proceso, por medio de un Diagrama de Proceso (DP) se describen las etapas del proceso que lo conforman.
- Medir etapas del proceso, con el uso de la técnica del Estudio del Trabajo (ET), se intervienen los métodos y se toman los tiempos de operación.
- Simulación, existen varios softwares para la simulación del proceso, con base a la información recolectada en las etapas anteriores. En este caso, aunque se recomienda FlexSim, se deja abierto a la disponibilidad que tenga la PYME, es muy importante la simulación, porque se logra entender la dinámica del proceso, sin tener que detenerlo para aplicar alguna actividad de intervención y revisar si funciona.
- Estandarización del proceso, con el uso de Diagrama de Flujo (DF), se documenta el proceso con las respectivas propuestas de mejoras, que sirva como guía para la ejecución del proceso y de capacitación del personal.

Resultados: Diagrama de Flujo (DF), se documenta el proceso con las respectivas propuestas de mejoras, que sirva como guía para la ejecución del proceso y de capacitación del personal.

- **Retroalimentación capacidad producción - calidad**

Propósito: verificar la capacidad del proceso intervenido en capacidad de producción y calidad.

Liderazgo: Staff de apoyo.

Composición: este sistema de retroalimentación, lo conforma el estándar del proceso, el sistema ciber físico, recolección de la información, almacenamiento y presentación de resultados; para aplicar estas etapas se definen dos variables, la primera, capacidad de producción en unidades por turno en función de la cantidad y la segunda, el porcentaje de cumplimiento del estándar del proceso en función de la calidad.

Modo de uso: los sistemas de retroalimentación están compuestos por.

Retroalimentación de la Capacidad de Producción (RCP)

Se toma como punto de partida, la capacidad de producción según el estándar del proceso en unidades por turno y se analiza con respecto, a la información suministrada por el Dashboard.

- Estándar del proceso, donde se especifica la capacidad de producción en unidades por turno.
- Sistema Ciber Físico, implementación tecnológica que transforma los datos físicos en digitales, enviándolos a una plataforma en la nube. El sistema ciber físico utilizado para (RCP), se puede evidenciar en **Figura 33 - 38**.
- Recolección información, lectura física del proceso al final de la línea de producción, por medio del sistema ciber físico, para su posterior incorporación en las bases de datos.
- Almacenamiento, La información se consolida en un servidor en la nube, que en esta metodología se propone el uso de Ubidots o se dejando abierta la disponibilidad un servidor usado o factible en la PYME.
- Presentar resultados, la información se consolida en las bases de datos de la nube, permitiendo aportar la información a la construcción del Dashboard, la cual se puede ver en línea, en equipos móviles.

Retroalimentación del Cumplimiento del estándar (RCE)

Según el estándar de producción, registrado en el Diagrama de Flujo, se realiza una verificación del proceso, con un formulario digital, el cual registra las respuestas y alimenta

en línea una Dashboard en Google Data Studio, donde se consolida el porcentaje de cumplimiento de la ejecución del proceso, con respecto a lo descrito en el (DF).

- Estándar del proceso, donde se especifica el procedimiento.
- Sistema Ciber Físico, implementación tecnológica que transforma los datos físicos en digitales, enviándolos a una plataforma en la nube. El sistema ciber físico utilizado en (RCE), se puede evidenciar en **Figura 33 - 38**.
- Recolección información, lectura física del proceso por medio de lista de chequeo digital, para su posterior incorporación a las bases de datos.
- Almacenamiento, La información se consolida en un servidor en la nube, que en esta metodología se propone el uso de Google Data Studio o se dejando abierta la disponibilidad un servidor usado o factible en la PYME.
- Presentar resultados, la información se consolida en las bases de datos de la nube, permitiendo aportar la información a la construcción del Dashboard, la cual se puede ver en línea, en equipos móviles.

Resultados: información en línea KPI's Dashboards - (RCP - RCE).

- **Sistema Auto – Regulador**

Propósito: definir las metas, límites de alarma y proyectos de mejoramiento.

Liderazgo: Staff de apoyo y Gerencia.

Composición: el sistema regulador, tiene la función de administrar los KPIs, a través de la definición de metas y límites de alarma, la auto gestión del proceso, se da, cuando se toman acciones automáticas, en el momento que los procesos lleguen a los límites de riesgo. se rige bajo el modelo de ciclo PHVA.

Modo de uso: El fundamento de esta etapa, está orientada a la toma de decisiones con hechos y datos, aportados por la capacidad de los procesos registrados en el Dashboard; estas decisiones toman forma siguiendo la estructura del mejoramiento, aportada por el ciclo PHVA.

Planear (Acciones de ajuste al proceso)

Hacer (Plan de trabajo)

Verificar (El plan de trabajo si este alineado la cultura organizacional y la capacidad del proceso)

Actuar (Generar reporte por escrito y enviar al proceso)

Resultados: definición de acción de mejora para el proceso operativo.

- **Aplicación de la mejora**

Propósito: acondicionamiento del proceso y mejoramiento de la productividad en la PYME.

Liderazgo: Gerencia, Staff de apoyo, líderes de producción y equipo de trabajo operativo.

Composición: está compuesta por la preparación, implementación y presentación; siguiendo el modelo de las 5S y los eventos Kaizen.

Modo de uso: la aplicación de la mejora está compuesta por.

El acondicionamiento del proceso para el mejoramiento, se realizará por medio de la implementación de las **5S**.

- Seiri (Clasificar), identificar los recursos necesarios para la ejecución del proceso.
- Seiton (Organizar), ordenar estos recursos para facilitar su uso.
- Seiso (Limpieza), mantener limpios, pisos, herramientas, maquinas, al igual que sus mantenimientos preventivos.
- Seiketsu (Estandarizar), desarrollar instructivos, para realizar el proceso lo más homogéneamente posible.
- Shitsuke (Mejorar), cultura organizacional orientada en la disciplina, de modo que el proceso se pueda mantener el proceso limpio y ordenado.

Posterior al acondicionamiento del proceso, se realizarán eventos **Kaizen** para la implementación de las mejoras orientadas por la gerencia.

- Preparación, definir equipo de mejoramiento interdisciplinario, con roles dentro del equipo, definir el objetivo de la intervención alineado a la definición de la gerencia, construir cronograma de actividades, consolidar los recursos requeridos, papelería, herramientas, información, instalaciones, entre otros.
- Implementación, según los roles definidos, se realizarán las intervenciones en el proceso, en verificación de medidas, capacitación del personal, seguimiento de labores, acompañamiento a procesos específicos, programar reuniones de seguimiento periódico min (1 v/sem), entre otros requeridos.
- Presentación, finalmente, hacer presentación formal a la gerencia y demás personas pertinentes, de las implementaciones y las ganancias logradas en el mejoramiento de la productividad del proceso.

Resultados: mejoramiento continuo y aumento del desempeño de las PYMEs.

Luego de la construcción de los componentes que darán soporte a los aportes del constructo, se logra un aporte importante al desarrollo del presente capítulo, el paso a seguir, es relacionar cuál de ellos aporta a cada uno de los elementos del constructo, y a si llegar al prototipo de la metodología integradora.

3.1.7 Describir las relaciones e interconexiones entre temáticas - Generar teoría resultante

Finalmente, consolidando los componentes desarrollados a lo largo de los capítulos de esta tesis, se logra llegar a la construcción de la metodología integradora de GP, I4.0, LSS para el mejoramiento del desempeño PYME; la intención de este desarrollo, nace del vacío identificado en la ciencia, según la construcción detallada del estado del arte de las Temáticas LSS, I4.0 y PYMEs.

En este punto podemos declarar la novedad de esta tesis de maestría, esta novedad está representada en cinco ciclos de mejora que llamaremos aportes técnicos y tecnológicos, seis aspectos estructurales metodológicos de base, que llamaremos aportes del constructo, donde su interconexión en ciclos, permite llegar al prototipo de metodología integradora.

Estos componentes tienen cualidades de forma individual, pero su conexión como sistema de mejoramiento continuo, se acoplan de forma eficiente y cronológica, a través de sus elementos de entradas y salidas, lo que significa que, la salida de un componente, es la entrada del otro, en un ciclo de mejoramiento continuo.

También es importante mencionar que, en el centro del modelo, se posiciona la estructura operativa PYME, la cual es la protagonista del mejoramiento, interactuando con el ciclo de mejora de la metodología integradora, permitiendo la identificación de oportunidades de mejora y gestionando el mejoramiento continuo.

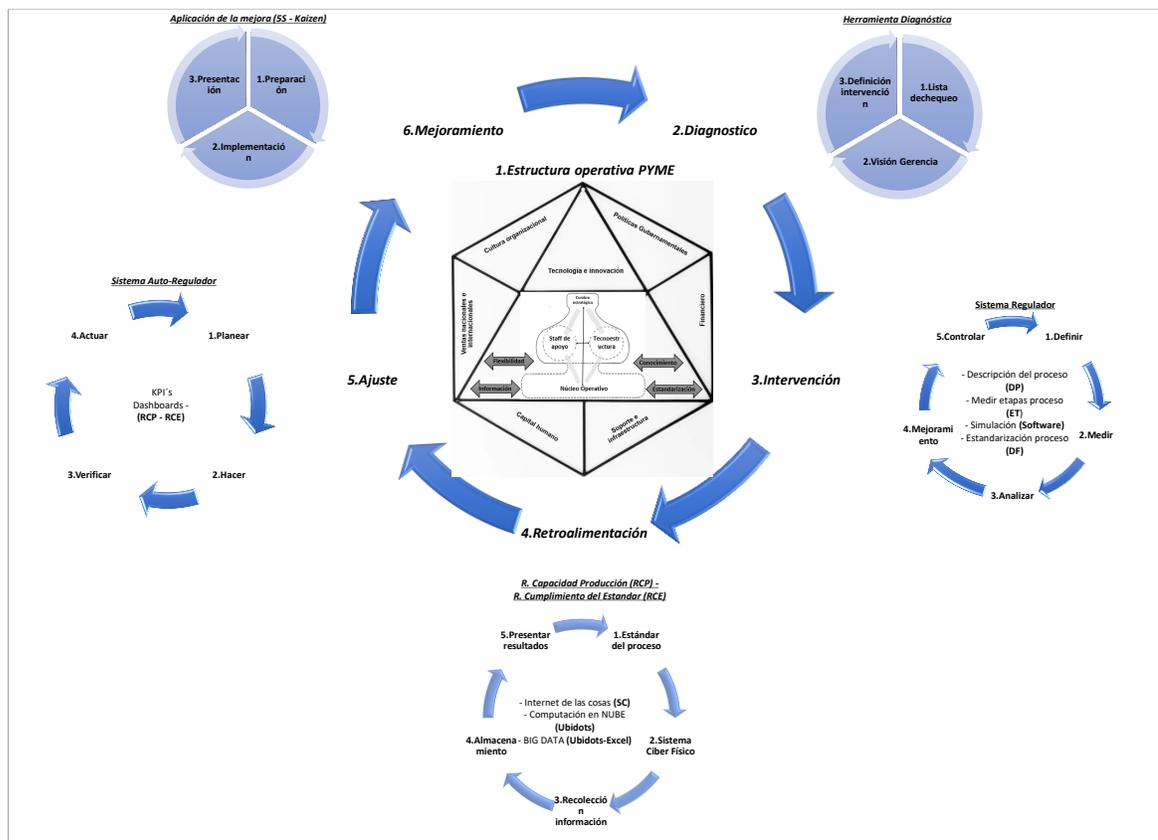


Figura 27. Prototipo Metodología Integrada GP, LSS, I4.0 en PYMEs.

Fuente: elaboración propia en Excel.

En la **Figura 27**, se evidencia gráficamente el prototipo de **“La metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras”** evidencia que permite argumentar la respuesta al objetivo general de esta tesis de maestría.

3.2 Instructivo de uso de la metodología integradora

En este apartado, se presenta de forma detallada las instrucciones de uso de la metodología. Se describen las etapas de la metodología y sus respectivas acciones específicas, de modo que el usuario pueda implementarla en cualquier tipo de PYME Manufacturera (mediana empresa). Ver **Tabla 25**.

Se define que el alcance de la intervención metodológica se puede dar, desde el análisis de la estructura organizacional PYME, hasta el proceso productivo.

Tabla 25. Instrucciones de uso

No.	ETAPA	DESCRIPCIÓN
1	Diagnostico	<p>Por medio de una lista de chequeo, la gerencia o en quien delegue, realiza un diagnóstico en función de los siguientes criterios:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estado de la estructura actual de la empresa, con respecto a la estructura operativa PYME propuesta por el modelo. 2. El conocimiento y aplicación de temáticas GP, LSS, I4.0, que para el alcance de esta metodología se participa con GP (ciclo PHVA, Estándar del proceso, Liderazgo, Participación del personal), LSS (5S, Kaizen, DMAIC, KPIs), I4.0 (IoT, Sistemas Ciber físicos, Computación en la NUBE, Big Data, Dashboard). 3. Capacidad de los procesos, cuales representan mayores desafíos en su desempeño y tienen mayor oportunidad de mejora. <p>Posteriormente, al tener un concepto claro del proceso a intervenir, la gerencia informa al personal involucrado, para su conocimiento en las intervenciones que se estarán dando en el proceso y participación en las acciones de mejora.</p>
2	Intervención	<p>En esta etapa se declara la participación de un “Sistema Regulator” el cual tiene la función de definir parámetros documentados para dar guía en la ejecución del proceso.</p> <p>Esta etapa del proceso está a cargo del “Staff de apoyo” que puede ser un Ingeniero Industrial o Consultor en el área de mejoramiento, contratado por la empresa en tiempo completo o por prestación de servicio.</p> <p>Teniendo claro el proceso a intervenir, se aplica una serie de actividades para intervenir el proceso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción del proceso, por medio de un Diagrama de Proceso (DP) se describen las etapas del proceso que lo conforman. 2. Medir etapas del proceso, con el uso de la técnica del Estudio del Trabajo (ET), se intervienen los métodos y se toman los tiempos de operación. 3. Simulación, existen varios softwares para la simulación del proceso, con base a la información recolectada en las etapas anteriores. En este caso, aunque se recomienda FlexSim, se deja abierto a la disponibilidad de tenga la PYME, es muy importante la simulación, porque se logra entender la dinámica del proceso, sin tener que pararlo para aplicar alguna actividad de intervención para revisar si funciona. 4. Estandarización del proceso, con el uso de Diagrama de Flujo (DF), se documenta el proceso con las respectivas propuestas de mejoras, que sirva como guía para la ejecución del proceso y de capacitación del personal. <p>La intervención está orientada por la metodología DMAIC:</p>

		<p>Definir (Descripción del proceso) Medir (Medir etapas del proceso) Analizar y mejorar (Simulación) Controlar (Estandarización del proceso)</p> <p>Finalmente se entrega, Diagrama de Flujo (DF), donde se documenta el proceso con las respectivas propuestas de mejoras, que sirva como guía para la ejecución del proceso y de capacitación del personal.</p>
3	Retroalimentación	<p>Para verificar la capacidad del proceso intervenido, se definen dos variables, la primera, capacidad de producción en unidades por turno en función de la cantidad y la segunda, el porcentaje de cumplimiento del estándar del proceso en función de la calidad.</p> <p>Esta acción la desarrolla el “Staff de apoyo” que puede ser un Ingeniero Industrial o Consultor en el área de mejoramiento, contratado por la empresa en tiempo completo o por prestación de servicio.</p> <p>Los sistemas de retroalimentación están compuestos por:</p> <p>1. Retroalimentación de la Capacidad de Producción (RCP)</p> <p>Se toma como punto de partida, la capacidad de producción según el estándar del proceso en unidades por turno y se analiza con la información suministrada por el Dashboard.</p> <p>1.1 Estándar del proceso, donde se especifica la capacidad de producción en unidades por turno.</p> <p>1.2 Sistema Ciber Físico, implementación tecnológica que transforma los datos físicos en digitales, enviándolos a una plataforma en la nube. El sistema ciber físico utilizado para (RCP), se puede evidenciar en Figura 33 - 38.</p> <p>1.3 Recolección información, lectura física del proceso al final de la línea de producción, por medio del sistema ciber físico, para su posterior incorporación en las bases de datos.</p> <p>1.4 Almacenamiento, La información se consolida en un servidor en la nube, que en esta metodología se propone el uso de Ubidots o se dejando abierta la disponibilidad un servidor usado o factible en la PYME.</p> <p>1.5 Presentar resultados, la información se consolida en las bases de datos de la nube, permitiendo aportar la información a la construcción del Dashboard, la cual se puede ver en línea, en equipos móviles.</p> <p>2. Retroalimentación del Cumplimiento del estándar (RCE)</p> <p>Según el estándar de producción, registrado en el Diagrama de Flujo, se realiza una verificación del proceso, con un formulario digital, el cual registra las respuestas y alimenta en línea una Dashboard en Google Data Studio, donde se consolida el porcentaje de cumplimiento de la ejecución del proceso, con respecto a descrito en el (DF).</p> <p>2.1 Estándar del proceso, donde se especifica el procedimiento.</p> <p>2.2 Sistema Ciber Físico, implementación tecnológica que transforma los datos físicos en digitales, enviándolos a una plataforma en la</p>

		<p>nube. El sistema ciber físico utilizado en (RCE), se puede evidenciar en Figura 38.</p> <p>2.3 Recolección información, lectura física del proceso por medio de lista de chequeo digital, para su posterior incorporación a las bases de datos.</p> <p>2.4 Almacenamiento, La información se consolida en un servidor en la nube, que en esta metodología se propone el uso de Google Data Studio o se dejando abierta la disponibilidad un servidor usado o factible en la PYME.</p> <p>2.5 Presentar resultados, la información se consolida en las bases de datos de la nube, permitiendo aportar la información a la construcción del Dashboard, la cual se puede ver en línea, en equipos móviles.</p> <p>Se entrega la información en línea KPI's Dashboards - (RCP - RCE).</p>
4	Ajuste	<p>En esta etapa se declara la participación de un “Sistema Auto - Regulador” el cual tiene la función de administrar los KPIs, a través de la definición de metas y límites de alarma, la auto gestión del proceso, se da, cuando se toman acciones automáticas, en el momento que los procesos lleguen a los límites de riesgo.</p> <p>Esta etapa del proceso está a cargo del Staff de apoyo y la Gerencia de la PYME.</p> <p>El fundamento de esta etapa, está orientada a la toma de decisiones con hechos y datos, aportados por la capacidad de los procesos registrados en el Dashboard; estas decisiones toman forma siguiendo la estructura del mejoramiento, aportada por el ciclo PHVA:</p> <p>Planear (Acciones de ajuste al proceso) Hacer (Plan de trabajo) Verificar (El plan de trabajo si este alineado la cultura organizacional y la capacidad del proceso) Actuar (Generar reporte por escrito y enviar al proceso)</p> <p>Se logran definir las acciones de mejora para el proceso operativo.</p>
5	Mejoramiento	<p>En el mejoramiento se acondicionará el proceso para la implementación de las acciones orientadas desde la gerencia, que el aumento de la productividad del proceso en la PYME.</p> <p>Esta etapa del proceso está a cargo del Staff de apoyo, líderes de producción y equipo de trabajo operativo.</p> <p>El acondicionamiento del proceso para el mejoramiento, se realizará por medio de la implementación de las 5S y el Kaizen.</p> <p>5S:</p> <p>Seiri (Clasificar), identificar los recursos necesarios para la ejecución del proceso. Seiton (Organizar), ordenar estos recursos para facilitar su uso. Seiso (Limpieza), mantener limpios, pisos, herramientas, maquinas, al igual que sus mantenimientos preventivos.</p>

		<p>Seiketsu (Estandarizar), desarrollar instructivos, para realizar el proceso lo más homogéneamente posible.</p> <p>Shitsuke (Mejorar), cultura organizacional orientada en la disciplina, de modo que el proceso se pueda mantener el proceso limpio y ordenado.</p> <p>Kaizen:</p> <p>Posterior al acondicionamiento del proceso, se realizarán eventos Kaizen para la implementación de las mejoras orientadas por la gerencia, siguiendo las etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación, definir equipo de mejoramiento interdisciplinario, con roles dentro del equipo, definir el objetivo de la intervención alineado a la definición de la gerencia, construir cronograma de actividades, consolidar los recursos requeridos, papelería, herramientas, información, instalaciones, entre otros. 2. Implementación, según los roles definidos, se realizarán las intervenciones en el proceso, en verificación de medidas, capacitación del personal, seguimiento de labores, acompañamiento a procesos específicos, programar reuniones de seguimiento periódico min (1 v/sem), entre otros requeridos. 3. Presentación, finalmente, hacer presentación formal a la gerencia y demás personas pertinentes, de las implementaciones y las ganancias logradas en el mejoramiento de la productividad del proceso.
--	--	--

Fuente: elaboración propia en Excel.

Con el desarrollo del **capítulo 3**, se consolidan los aportes para la construcción de la “**La metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras**” evidencia que permite argumentar la respuesta al objetivo general de esta tesis de maestría, ver **Figura 27**.

Esta metodología es el fruto de la construcción de los **capítulos 1, 2 y 3**, donde se fueron construyendo componentes de valor, desde lo general hasta llegar a lo específico de la propuesta metodológica. En este **capítulo 3**, se declara la novedad de esta tesis de maestría, esta novedad está representada en cinco ciclos de mejora con aportes técnicos y tecnológicos, seis aspectos estructurales metodológicos de base, donde su interconexión en ciclos, permite argumentar el prototipo de metodología integradora, aportando al nuevo conocimiento a la luz de la ciencia, que tiene como alcance esta tesis.

También se logra dar respuesta a la descripción de los elementos metodológicos integradores con base a componentes técnicos y bibliográficos, la elaboración una matriz para evidenciar los elementos de forma holística, la definición componentes de la metodología integradora y la definición de los

elementos del constructo, para finalmente llegar a la construcción del prototipo de la metodología integradora GP, I4.0, LSS, para el mejoramiento de las PYMEs.

4. Instrumento validador

Finalmente, como aporte al desarrollo metodológico de la tesis, se tiene como objetivo de este capítulo, desarrollar un instrumento validador, que permita dar retroalimentación a la metodología integradora propuesta.

El instrumento validador, está orientado bajo dos perspectivas: la primera, en evaluar la aplicación de la metodología, por medio de una verificación al proceso metodológico, a través de una lista de chequeo. La segunda, es el monitoreo de los KPIs (RCP - RCE), desarrollados para el **capítulo 3**, los cuales permitirán evaluar el impacto del uso de la metodología en función del tiempo, en el mejoramiento de la capacidad de producción y el mejoramiento de la calidad.

En la **Figura 28**, se modela un mapa mental que orienta los componentes a desarrollar y donde se quiere llegar con la construcción de este capítulo.

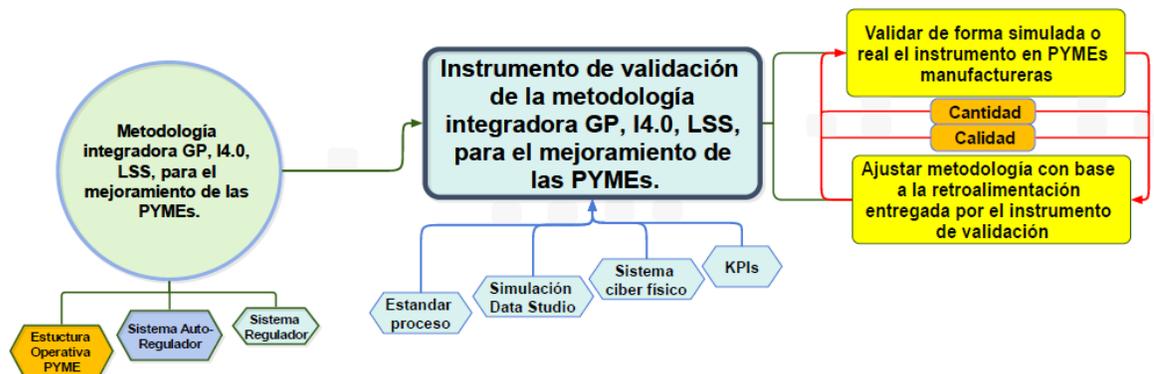


Figura 28. Instrumento validador metodología integradora GP-LSS-I4.0-PYMEs.

Fuente: elaboración propia usando MindMapper.

4.1 Determinar instrumento de validación del prototipo

Como primer aporte para la construcción del *Instrumento Validador* (IV), nos apoyaremos en la definición que nos proporciona la Norma ISO 17025, la cual define este criterio como: “La validación se da cuando los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto” (Técnica, 2017).

Es por esta razón, que cuando tenemos la intención de validar un método, el (IV) debe tener el alcance que sea necesario para satisfacer las necesidades de la aplicación o del campo de aplicación del método diseñado (Técnica, 2017).

Algunas técnicas utilizadas para la validación del método según (Técnica, 2017).

- Calibración o evaluación del sesgo y precisión utilizando patrones de referencia o materiales de referencia.
- Evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado.
- La robustez del método de ensayo a través de la variación de parámetros controlados, tales como la temperatura de la incubadora, el volumen suministrado.
- La comparación de los resultados obtenidos con otros métodos validados.
- Las comparaciones Inter laboratorio.
- Evaluación de la incertidumbre de medición de los resultados basada en la comprensión de los principios.
- Teóricos de los métodos y en la experiencia práctica del desempeño del método de muestreo o ensayo.

Este estudio, se apoya en la técnica, “la evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado”(Técnica, 2017).

De modo que se realice la validación a tomando como punto de referencian el prototipo de la metodología integradora y la capacidad de producción del estándar del proceso, evaluando sistemáticamente sus factores y como estos influyen en el resultado final, que es el mejoramiento del desempeño de la PYME.

El (IV), se integra al trabajo, como un componente que aporta información a la gerencia de la PYME, para la toma de decisiones, en función del mejoramiento continuo.

Las etapas que se tomaran como base para la construcción del (IV) son las descritas en la **Figura 29**, soportado por (Chiner et al., 2004).

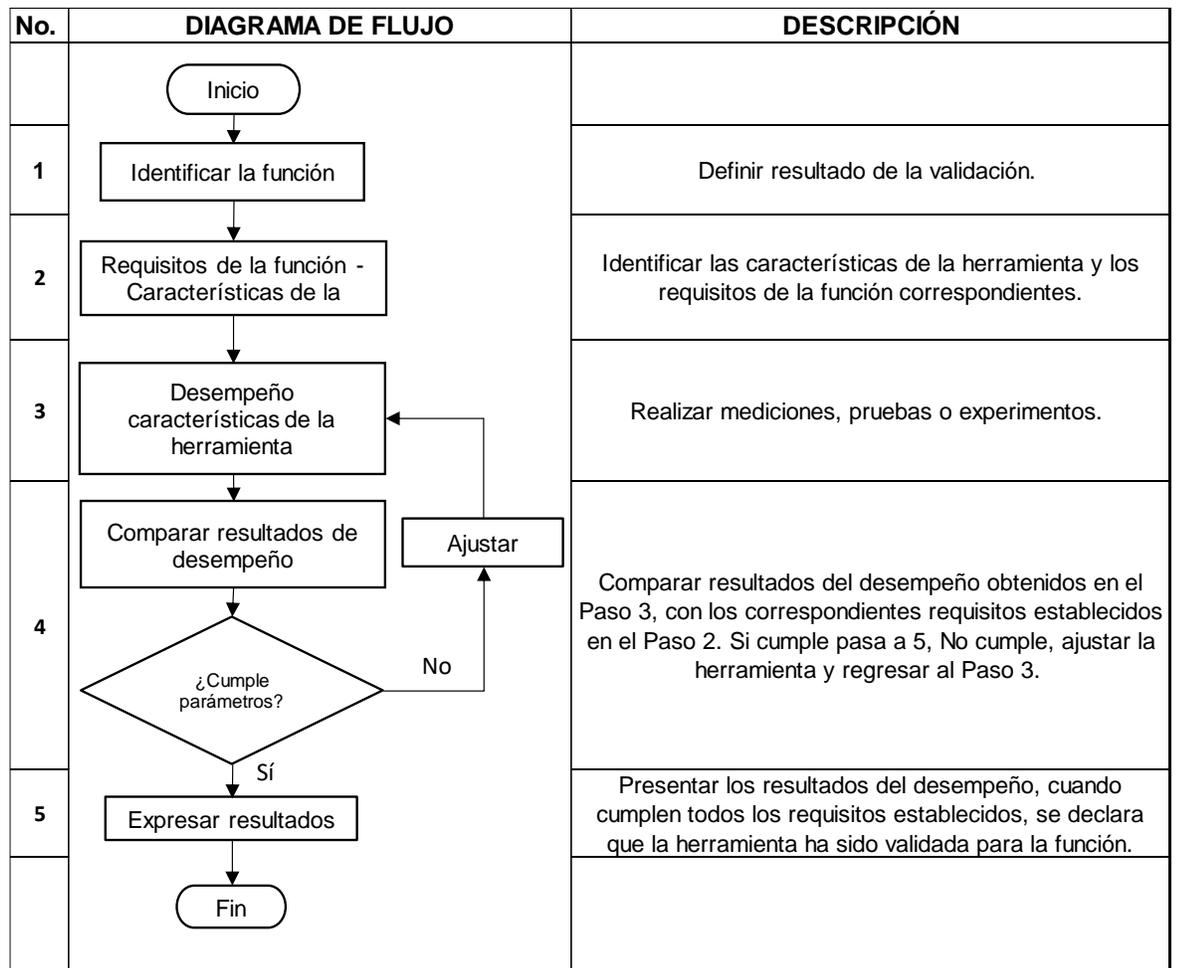


Figura 29. Protocolo para la construcción del Instrumento validador.
Fuente: elaboración propia, basado en (Chiner et al., 2004).

Validar una metodología de mejoramiento, se vuelve necesaria cuando surgen expectativas de su efectividad como herramienta propuesta para realizar una función particular.

Es por esta razón, que para darle respuesta al compromiso de este capítulo se desarrollan dos herramientas de validación, una que ayudará a la validación de la metodología y la otra que ayudará a la validación del mejoramiento del desempeño del proceso intervenido.

En la siguiente Figura, se presenta el Instrumento Validador del Prototipo.

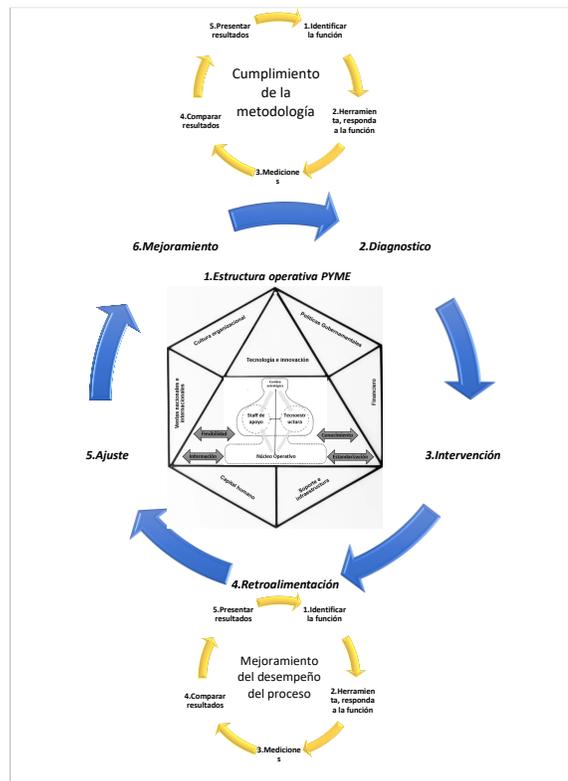


Figura 30. Instrumento validador.
Fuente: elaboración propia en Excel.

En la **Figura 30**, se evidencia el desarrollo de las dos herramientas de validación y como es su conexión con el prototipo de la metodología integradora. A continuación, se especificará cada uno de los (IV).

4.1.1 Validador metodológico (VM)

Para validar el cumplimiento de la metodología, se aplica la lista de chequeo presentada en la **Figura 31**, donde se verifica cada uno de los componentes de la metodología en función de sus puntos críticos; esta comparación permite la validación de la metodología y la generación de planes de ajuste, en el caso que no se cumpla alguno de los criterios.

La aplicación del validador, se debe hacer con una frecuencia mensual, posterior al inicio de la implementación, donde se recomienda el personal del Staff de apoyo, realizar la verificación y la gerencia, dispones de espacio (Comité) para la socialización del resultado.

LISTA DE CHEQUEO VALIDADOR METODOLÓGICO				
ETAPA	DESCRIPCIÓN	Cumple	No cumple	Observación
Diagnostico	Se aplica lista de chequeo para diagnóstico del proceso			
	El estado actual de la estructura organización es coherente con el modelo operativo PYME propuesto			

	Se tiene conocimiento en metodologías GP, LSS, I4.0, que para el alcance de esta metodología se participa con GP (ciclo PHVA, Estándar del proceso, Liderazgo, Participación del personal), LSS (5S, Kaizen, DMAIC, KPIs), I4.0 (IoT, Sistemas Ciber físicos, Computación en la NUBE, Big Data, Dashboard)			
	Se tiene conocimiento del proceso a intervenir y cuan fue el criterio de selección			
Intervención	Se tiene participación de Staff de apoyo			
	Se realizó Diagrama de Proceso, la proceso a intervenir			
	Se aplicaron mediciones al proceso con técnica del Estudio del Trabajo (ET)			
	Se realizó simulación al proceso o algún tipo de análisis a las medidas registradas del proceso			
	Si tiene Diagrama de Flujo con la información del proceso intervenido			
Retroalimentación	Se tiene participación de Staff de apoyo			
	Se tiene implementado instrumento de medición de la capacidad de producción			
	Se tiene implementado instrumento para verificar el cumplimiento del proceso			
	Se tiene la información en línea KPI's Dashboards - (RCP - RCE).			
Ajuste	Se tiene participación de Staff de apoyo y la gerencia			
	Se tienen actas de reunión y registro de acciones enviadas al proceso operativo			
Mejoramiento	Se tiene participación de la Gerencia, Staff de apoyo, líderes de producción y equipo de trabajo operativo.			
	Se tienen evidencias de reportes enviados por la gerencia para aplicar al proceso			
	Se tienen evidencias de la aplicación de las 5S			
	Se tienen evidencias de la aplicación de los eventos Kaizen			

Figura 31. Validador Metodológico.
Fuente: elaboración propia en Excel.

4.1.2 Validador mejoramiento del desempeño (VCP)(VCE)

Para la validación del mejoramiento del desempeño del proceso intervenido, se aprovecharán los sistemas de retroalimentación, aplicados en el capítulo 3, (numeral 3.2.3). Los cuales cumplen con los dos requerimientos, el primero, proporcionan información para la retroalimentación del proceso, y esta misma información, tiene la funcionalidad de servir como validador, ya que se puede evidenciar en los KPIs, la tendencia del proceso en función del tiempo.

A continuación, se presentarán estos validadores de capacidad de producción y calidad.

Instrumento validador capacidad de producción (VCP).

En la **Figura 32**, se presenta gráficamente el diseño del (VCP), el cual se construye siguiendo la metodología del protocolo para la construcción del instrumento validador, el cual está compuesto por los siguientes subprocesos.

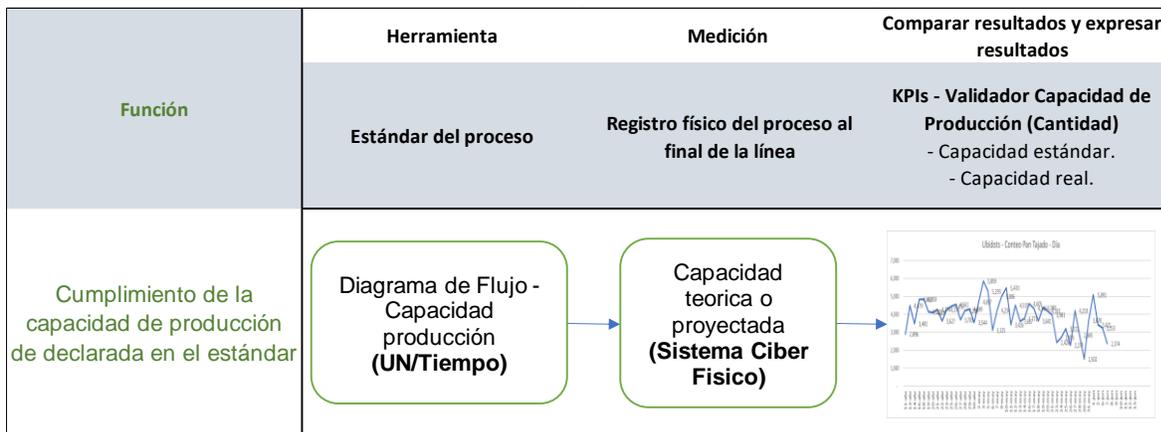


Figura 32. Instrumento validador capacidad de producción (VCP).

Fuente: elaboración propia, basa en (Chiner et al., 2004).

Declaración de la función, cumplimiento de la capacidad de producción declarada en el estándar.

Herramienta - Diagrama de flujo, el estándar del proceso, es considerado como la hoja de ruta para la elaboración del producto, sirviendo de guía para la capacitación del personal nuevo, orientación del personal operativo, además de seguimiento y control para el personal supervisor y de calidad.

Para nuestro estudio, el estándar del proceso, es el elemento base, de donde se parte el estudio para el mejoramiento de las actividades de producción, como también la herramienta, donde se registran los mejoramientos del proceso cuando se aplica la gestión de la metodología integradora GP, LSS, I4.0 en PYMEs, para posteriormente, difundir las acciones en el proceso productivo y la cultura organizacional.

Es por esta razón, que el estándar de proceso se caracteriza dentro del instrumento validador de la capacidad del proceso, como el punto de partida para verificar las acciones de mejora que proporciona la metodología integradora GP, LSS, I4.0 en PYMEs.

Medición – Registro físico del proceso al final de la línea, para la medición se utiliza un el sistema ciber físico, el cual tiene como objetivo principal obtener la información del proceso físico, convertirla en un dato digital y enviarlo a una plataforma en la nube, esto con el fin de monitorear remotamente el proceso y obtener información útil para la toma de decisiones.

La tecnología usada se basa en el Internet de las cosas (IoT), Big Data y computación en la nube (Cloud Computing).

Los componentes del sistema se muestran en la **Figura 33**.

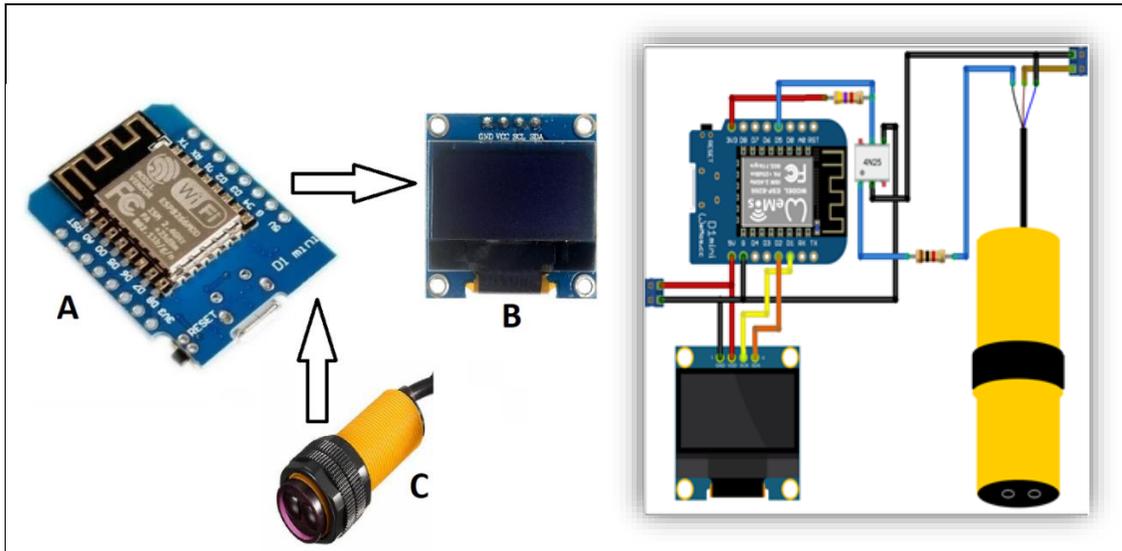


Figura 33. Esquema del sistema ciber físico - Teórico.

Fuente: elaboración propia.

A. Wemos D1 mini ESP8266. Es una plataforma de desarrollo especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). Su aporte al sistema ciber físico, radica en recibir la información tomada por el sensor fotoeléctrico, el cual envía una señal al Wemos D1, al momento de leer el producto. Posteriormente al recibir la señal, el Wemos D1, envía el dato por medio del modem WIFI a la plataforma de la nube Ubidots.

B. Pantalla OLED (Organic Light-Emitting Diode). Se destaca por su gran contraste, mínimo consumo de energía y buena calidad de imagen. Este componente permite evidenciar las unidades leídas en tiempo real y llevar un registro de los productos manufacturados.

C. Sensor fotoeléctrico de barrera. Este componente realiza la lectura física de las unidades producidas, para enviar posteriormente a la plataforma Wemos D1.

Comparar resultados y expresar resultados - KPIs (VCP) para el monitoreo y almacenamiento de los datos en la nube, se usa la plataforma Ubidots, que es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) que tienen algunas funciones gratuitas, donde se utiliza en el alcance de este estudio, la función de Back-up de 30 días.

Esta plataforma permite enviar datos de sensores a la nube, establecer tableros de control y usar herramientas de analítica, permitiendo tener la información en línea y disponible en equipos móviles, de modo que se tomen decisiones en tiempo real.



Figura 34. Plataforma Ubidots.
Fuente: plataforma Ubidots.

En la **Figura 34**, se presente el cuadro de control que proporciona la plataforma Ubidots, la cual permite tener control de la producción en línea, para la toma de decisiones en la dinámica de la producción.

Instrumento validador cumplimiento del estándar (VCE).

En la **Figura 35**, se presenta gráficamente el diseño del (VCE), el cual se construye siguiendo la metodología del protocolo para la construcción del instrumento validador, el cual está compuesto por los siguientes subprocesos.

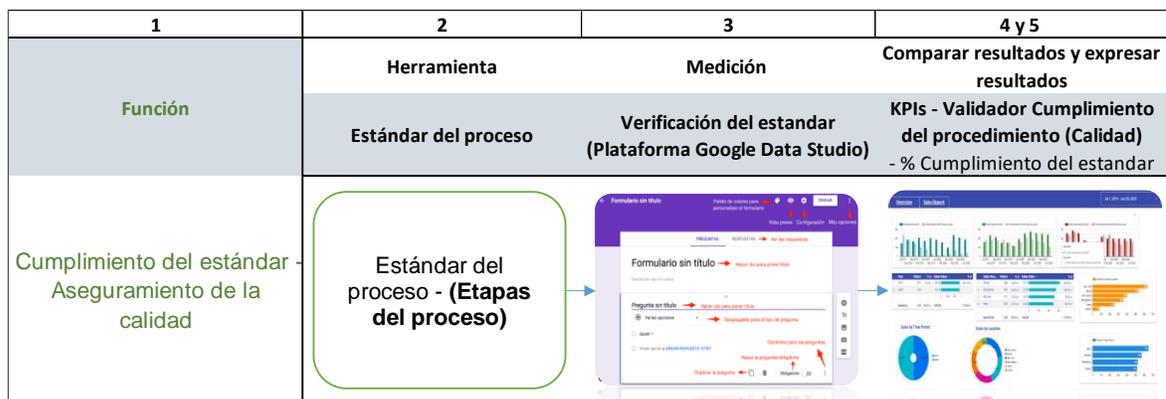


Figura 35. Instrumento validador cumplimiento del estándar (VCE).
Fuente: elaboración propia usando Excel.

Declaración de la función del (VCE), cumplimiento del estándar - Aseguramiento de la calidad.

Herramienta - Estándar del proceso, se toma como base la construcción del Diagrama de flujo del proceso, esta guía permitirá el desarrollo de un formulario digital, que servirá como lista de chequeo, para realizar la verificación de los criterios del estándar del proceso.

Medición – Verificación del estándar, para la verificación del estándar en el proceso, se utiliza la plataforma de Google Data Studio, la cual permite la construcción de formulario que sirven como lista de chequeo para la verificación del cumplimiento de las etapas del proceso. Este ejercicio de verificación se realiza de forma aleatoria, observando el proceso real y de forma práctica se registra si cumple o no cumple el criterio declarado en la lista de chequeo.

Data Studio, es una herramienta gratuita que tiene la capacidad de convertir datos en informes y cuadros de mando interactivos, fácilmente personalizables y fáciles de consultar. Como aporte al instrumento validador y desde la perspectiva de la I4.0, esta plataforma, también aporta a tener la información en línea, en dispositivos móviles, ayudando a la gerencia en el control del proceso y a la toma de decisiones oportunas, de modo que se eviten perdidas exponenciales por no tomar una decisión a tiempo y de forma objetiva con hechos y datos.

El formulario tiene la capacidad de ir generando un consolidado de las respuestas, de modo que se pueda evaluar su cumplimiento y si se tienen comentarios relevantes del proceso que se deba intervenir de forma prioritaria.

Comparar resultados y expresar resultados - KPIs (VCE) para el monitoreo y almacenamiento de los datos en la nube, se usa la plataforma Google Data Studio, que es una plataforma con cuadros y gráficos interactivos, permitiendo tener la información en línea y disponible en equipos móviles, de modo que se tomen decisiones en tiempo real.

4.2 Validación del instrumento

Para la validación del instrumento, se realizaron algunos acercamientos al proceso productivo de una productora PYME (mediana empresa) que produce pan y que facilito de forma parcial, la aplicación de algunos instrumentos desarrollados la presen tesis, a continuación, se presentan las evidencias de las intervenciones.

4.2.1 Diagnostico

#	Aspectos A Indagar Administración Y Producción Pan Talado	VALORACION		OBSERVACIONES
		CUMPLE	NO CUMPLE	
1	¿Tiene definido un modelo de gestión?		X	
2	¿Tiene certificación en ISO 9001?		X	
3	¿Conoce y aplica en ciclo PHVA para la gestión de la empresa?	X		Si se conoce, aplica parcialmente
4	¿Conoce los criterios de la I4.0?		X	
5	¿Aplica alguna tecnología de la I4.0 en su proceso de producción y gestión?		X	
6	¿Conoce los principios de manufactura esbelta LSS?		X	
7	¿Aplica alguna metodología de mejoramiento continuo?	X		Buenos principios, pero no maneja los datos de manera adecuada
8	¿Tiene definido y de forma escrita procedimiento o estándar de los procesos?	P		Parcialmente, formatos registros de tiempos
9	¿Tiene caracterizado su proceso de producción en entradas, transformación y salidas?	P		Formato tiempos y estándares
10	¿Tiene actividades de control y retroalimentación del proceso productivo?	X		Control calidad, control producción
11	¿Cuáles son las variables de salida del proceso productivo, como las registran, como les hacen seguimiento?			Tiempos físicos, tiempos y cantidades en el proceso general
12	¿Cómo es el manejo de la información de las variables de salida, física o digital?	X		Física
13	¿Se tienen espacios de retroalimentación donde se identifiquen brechas en el cumplimiento del proceso y se tomen acciones de mejora?	P		Reuniones según necesidad
14	¿Cómo se hace seguimiento a la Mano de obra utilizada en el proceso?	P		Trabaja producido por el tiempo / turno
15	¿Cómo está definida la estructura organizacional de la empresa?	X		Organograma con dirección, sub-dirección
16	¿Cómo es la línea de mando y flujo de la información?	X		Flujo de información y de calidad
17	¿Cómo se desarrollan los procesos de capacitación del personal?	P		Control Humano, programación de tiempos, calidad, P, tiempos, producción poco
18	¿Cómo se implementan las acciones de mejora en el proceso?	X		Flujo de la información, hasta llegar a los ejecutivos
19	¿Cuáles son sus expectativas y proyectos futuros que les gustaría desarrollar en su empresa?	X		Estandarización del proceso
20	¿En este momento reconoce que tiene oportunidades de mejora a nivel de productividad? ¿Cuáles?	X		Tiempos de producción por grupo Trab, Optimización de un solo AP, M.E. M, control de Rendimiento, control de mejoramiento solo para el
21	¿Le gustaría implementar nuevas prácticas de manufactura en su proceso productivo para mejorar productividad y competitividad?	X		Si
22	¿Dispondría de presupuesto para inversiones futuras en tecnología?			No tengo información.
Fecha de aplicación de Instrumento:		30.05.2022		
Responsable de aplicar el Instrumento:		Jesús Navarro (Asistente)		
Respuesta al Instrumento:		Nancy Stella Guillero Guzmán		
Cargo:		Dirección Producción		

Figura 36. Lista de Chequeo Diagnostico.
Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 36**, se aplica lista de chequeo a la directora de producción, con la intención de realizar un diagnóstico del proceso de producción, donde se identifica, que la empresa no aplica ninguna de las técnicas de GP, LSS, I4.0, que les gustaría implementar acciones de mejora con base a estas temáticas y que tienen identificadas oportunidades de mejoramiento como, tiempos de producción por grupo de trabajo, optimización de recursos, control de rendimientos, conformar un equipo de mejoramiento. También se define que el proceso que se debe intervenir es el de Pan Tajado, ya que este es el que representa el mayor volumen de producción y representa las mayores oportunidades de mejora.

4.2.2 Intervención

En la **Figura 37**, se mide el proceso de producción del pan tajado, utilizando herramientas como el Diagrama de Flujo, para la descripción de las etapas del proceso, toma de tiempos para definiendo tiempos de procesamiento, registro de cantidad de personas por etapa del proceso y finalmente el tiempo disponible del turno; cabe aclarar que esta construcción no la tenía la empresa.

Con el registro de esto factores de producción, se pudo analizar la información y llegar a una unidad de medida que permitía identificar una capacidad de producción teórica de cada una de las etapas del proceso.

En consolido la información en un formato, presentado en la **Figura 37**, que especifica la numeración de la etapa del proceso, su orden cronológico orientado por el diagrama de flujo, la descripción específica de cada etapa. En este mismo formato se definen seis parámetros para el cálculo de la capacidad instalada, donde se define como unidad mínima de producción (187 panes). Se tomará la primera línea (mezcla de componentes) para explicar los cálculos.

- Primero - Minutos Requeridos para procesar en cada etapa 187 panes.
- Segundo: $(60/9) = 6.7$ Ciclos por hora.
- Tercero: $(187*6.7) = 1,247$ Unidades/hora.
- Cuarto: $(1,247*8) = 9,973$ Capacidad en 8 horas = Unidades por turno.
- Quinto: = 2 Personas que intervienen en el proceso.
- Sexto: $(2*9,973) = 19,947$ Capacidad 8 horas por el # personas = Unidades por turno ponderando M.O.

Empresa: Panadería							
Alcance: Inicia en mezcla de componentes Masa - Fin: Empaque pan tajado				min	un/hora	Turno	Personas
Proceso: Línea producción Pan Tajado				60.0	187	8	
No.	DIAGRAMA DE FLUJO	DESCRIPCIÓN	Min requeridos para 187 panes	Ciclos/hora	Unidades / Hora	Capacidad turno 8 horas	Personas
1		En maquina mezcladora se incorporan ingredientes para la masa del Pan	9	6.7	1,247	9,973	2
2		Luego de la mezcla de componentes, se somete la masa a dos pasos por el cilindro, para que tome textura	8	7.5	1,403	11,220	1
		¿La masa cumple parámetros de calidad? Si: pasa a mesa surtido No: retorna a cilindro o mezcladora según el caso					
3		Se prepara la masa y se guía a mesa a máquina formadora del producto	6	10.0	1,870	14,960	1
4		Se toman las porciones de masa, que representan un pan y se ubican en moldes					
		¿La masa cumple parámetros de calidad? Si: pasa a llenado de molde No: retorna a cilindro	4	15.0	2,805	22,440	1
5		Se toman los mondes con los panes, se ubica lata y se posiciona en carro transportador					
6		Proceso cuarto fermentador	60	1.0	187	1,496	3
7		Los carros son ingresados al horno - 2 carros por horno	45	1.3	249	1,995	2
8		Se sacan los panes de los moldes	10	6.0	1,122	8,976	1
9		Se dejan los panes horneados en estanterías	60	1.0	187	1,496	3
		¿La masa cumple parámetros de calidad? Si: pasa a corte y empaque No: se baja a desperdicio					
10		Se surte el pan en maquina cortadora, tajando el Pan y en línea se realiza el empaque	12.5	4.8	898	7,181	1

Figura 37. Estándar proceso elaboración pan tajado.

Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 37**, se describe específicamente el proceso y con la información consolidada de los tiempos de procesamiento, se logra construir la capacidad de unidades de pan tajado por turno de 8 horas, teniendo presente el número de personas que intervienen, los tiempos de procesamiento y el tiempo disponible.

En se analiza la información y se identifican oportunidades de mejora el en balanceo de la producción, ya que el cuello de botella, lo representa el proceso de horneado con una capacidad de producción por turno de 3.989 unidades de pan tajado, hasta 22.440 unidades en el proceso de recoger producto y ubicar en carro, lo que representa una gran oportunidad de mejoramiento, en entender e intervenir

los procesos cuello de botella, que en este caso serían, fermentación de levadura y horneado.

4.2.3 Retroalimentación

También se pudo intervenir en la empresa, con la instalación de prototipo para la validación de la capacidad de producción (VCP).

En la **Figura 38**, se puede identificar el prototipo ubicado en el proceso real, al final de la línea de producción del pan tajado.

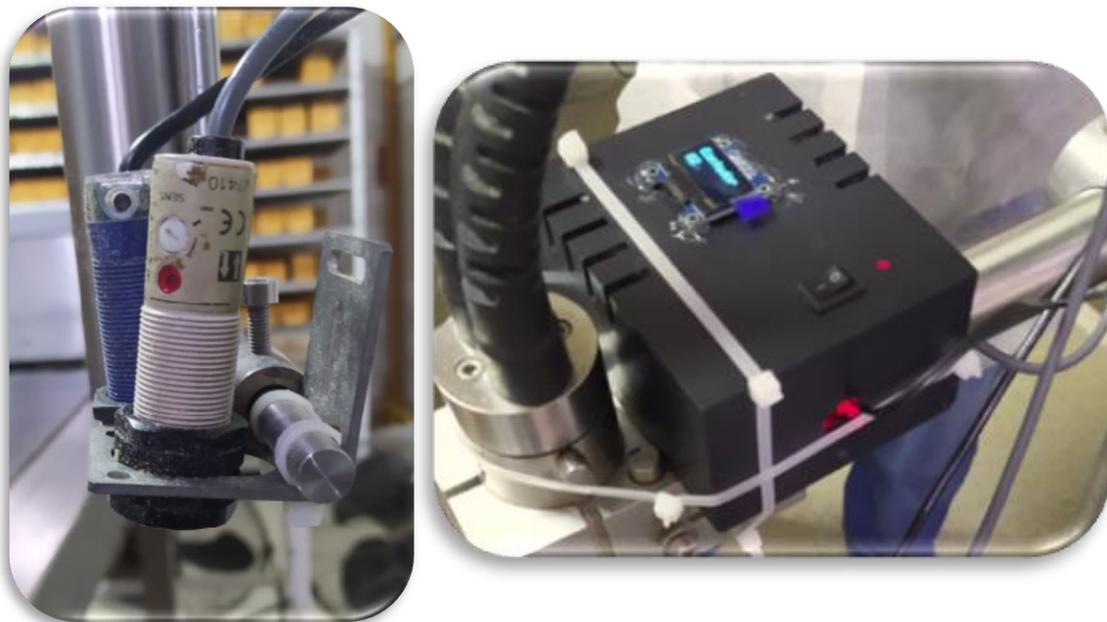


Figura 38. Esquema del sistema ciber físico - Aplicado.

Fuente: elaboración propia.

El sistema ciber físico, fue expuesto al proceso durante dos meses aproximadamente (11 abril 2022 hasta 7 junio 2022), donde se pudo evidenciar su capacidad operativa en un proceso real, además de proporcionar la información para evidenciar la capacidad de producción de la línea de producción del Pan Tajado y la información soporte para el proceso de validación (VCP).

El almacenamiento de la información, se consolida en una base de datos en el Excel ver **Anexo F**. A través de esta base de datos, se fundamenta la comparación de los resultados de la capacidad de producción entre lo expresado en el estándar y la capacidad real de producción.

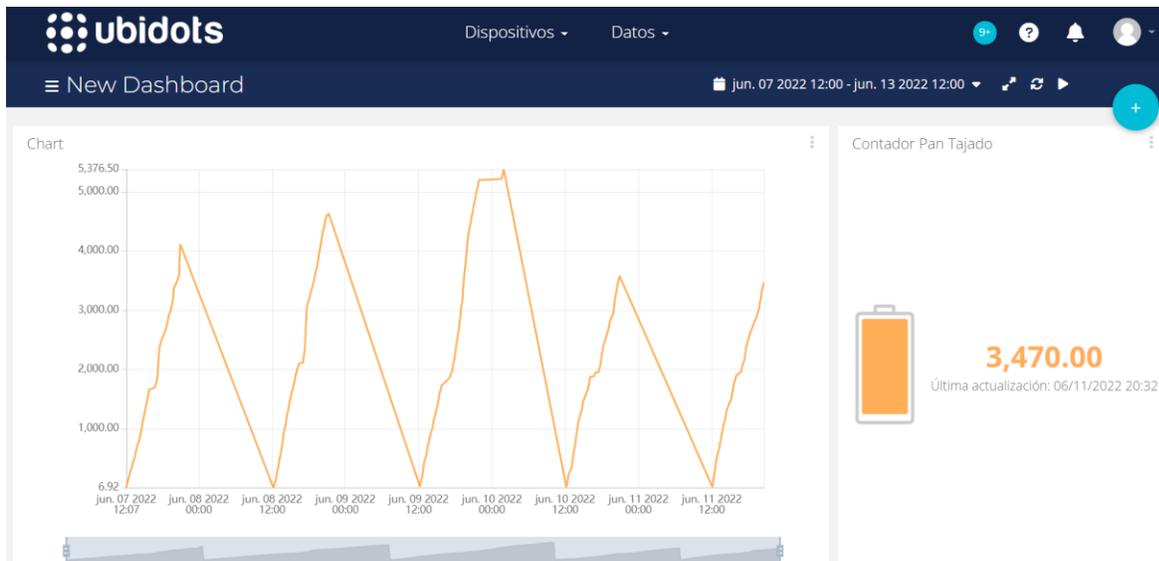


Figura 39. Plataforma Ubidots.
Fuente: plataforma Ubidots.

En la **Figura 39**, se presente el cuadro de control de proporciona la plataforma Ubidots, la cual permite tener control de la producción en línea, para la toma de decisiones en la dinámica de la producción.

The screenshot shows a 'Descargar datos' (Download data) form for 'Contador Pan Tajado'. The form has a teal header with the title 'Contador Pan Tajado'. It includes fields for 'Fecha inicial' (2022-06-07 12:00:00) and 'Fecha final' (2022-06-13 12:00:00). There is a text input for 'Correos electrónicos' containing 'proyectoindustrial22@gmail.com' and a note 'Ingresa correos electrónicos separándolos por comas'. A 'Columna' section has a checked 'Variables' checkbox and a dropdown menu for 'Nombre de la Columna' with 'Label' selected. At the bottom, there are 'Cancel' and 'Exportar' buttons.

Figura 40. Plataforma Ubidots – descarga información.
Fuente: plataforma Ubidots.

Con la información consolidada en Excel, finalmente se puede construir un indicador que permita evidenciar las unidades producidas por turno de producción (8 horas) diariamente.

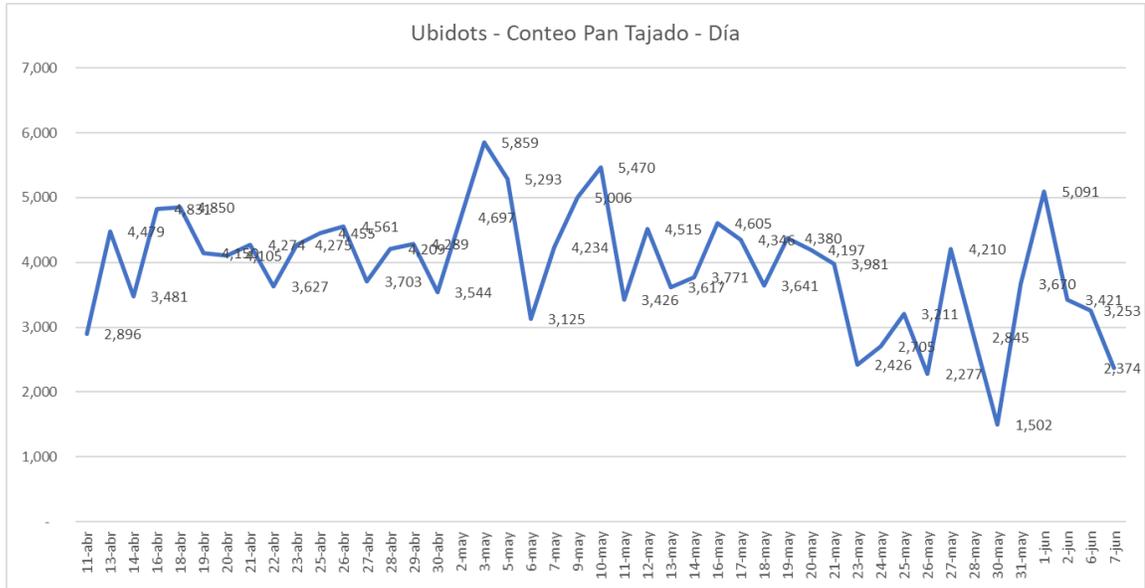


Figura 41. Indicadores de Gestión KPI's (VCP).
Fuente: elaboración propia, usando información Ubidots.

En la **Figura 41**, se puede evidenciar la producción diaria de la línea de producción de Pan Tajado, se eliminan del registro los días festivos para no alterar el gráfico con datos de cero que no agregan valor, según la línea de graficada se puede comprobar el registro y continuidad de la plataforma en el tiempo, como también la información de producción en unidades, es importante aclarar que el número de unidades producidas está afectada por la demanda de los pedidos del cliente, pero se logra identificar, que en promedio la producción es de **3,931** unidades de pan tajado en un turno de 8 horas.

El componente tecnológico, le aporta al sistema validador (VCP), la disponibilidad de información de la capacidad del proceso en el turno de 8 horas, en unidades producidas; esta información se convierte en una variable de salida del sistema de producción, dando información a la gerencia para la toma de desviaciones.

Otro aporte relevante, es que la herramienta tiene también la característica dentro de la metodología integradora GP, LSS, I4.0 en Pymes, de validar el impacto en el resultado de la producción, en futuras implementaciones de mejora.

Tabla 26. Cuadro Validador Capacidad Producción (VCP)

Parámetro	Estándar del proceso – Turno 8 horas	Promedio Ubidots – Turno 8 horas
Tiempo de ciclo limitador	3.989	3.931

Fuente: elaboración propia usando Excel.

Finalmente, se puede inferir en la validación de (VCP), que la ejecución real del proceso, comparado con los registros promedios arrojados por el sistema ciber físico en la plataforma Ubidots, son similares, dando una idea positiva de la funcionalidad de la herramienta.

Otro criterio que se pudo intervenir en la empresa, fue la aplicación del prototipo para la validación del cumplimiento del estándar (VCE).

En la **Figura 42**, se evidencia una representación de formulario a utilizar en la verificación del estándar.

Las preguntas configuradas en el formulario de la plataforma Data Studio son:

- ¿La proporción de la mezcla de componentes que integran la masa, está acorde con el instructivo de dosificación para el producto en proceso?
- ¿El proceso de cilindrado, se está realizando con los 12 kilos de masa y pasa 2 veces por el cilindro?
- ¿El surtido en mesa y formado del producto, se está realizado con la máquina calibrada y con los ajustes de programación orientados en el instructivo de uso?
- ¿Los moldes se encuentran preparados, limpios y bien dispuestos para el proceso de llenado?
- ¿Los colaboradores que recogen el producto, surtir molde y llenar carro, tiene capacitación previa a la ejecución del proceso?
- ¿Los parámetros de temperatura (40°C) y humedad relativa (40%) del cuarto fermentador, se cumplen?
- ¿El horno se encuentra limpio y ordenado para su uso?
- ¿El horno se encuentra programado a 180 °C?
- ¿Se identifican el mobiliario requerido para el desmolde de los panes?
- ¿Se tiene capacidad de almacenamiento para el enfriamiento y reposo del Pan antes del empaque?
- ¿El personal de corte y empaque, están capacitados en la labor?

Figura 42. Lista de chequeo verificación del estándar (VCE).
Fuente: elaboración propia usando Data Studio.

El formulario tiene la capacidad de ir generando un consolidado de las respuestas, de modo que se pueda evaluar su cumplimiento y si se tienen comentarios relevantes del proceso que se deba intervenir de forma prioritaria, en la **Figura 43**, se puede ver como se consolidan los resultados de forma gráfica, de cada una de las preguntas de la lista de chequeo.

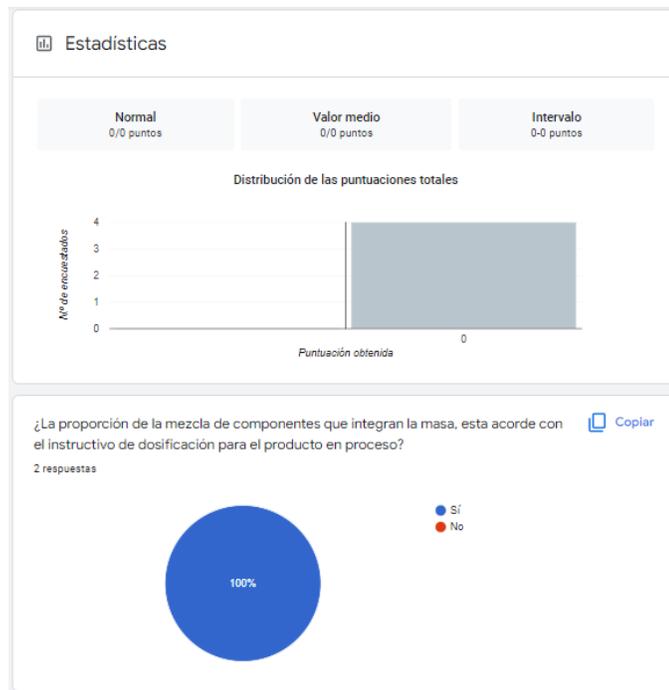


Figura 43. Informe de la verificación del estándar (VCE).
Fuente: elaboración propia usando Data Studio.

En la **Tabla 27**, se puede evidenciar el paralelo de lo que recomienda el estándar, en comparación con el proceso real en la verificación, dando una idea clara y evidente de los procesos a los que se deben intervenir para el mejoramiento y que no lo están cumpliendo en la operación poniendo en riesgo la calidad del producto.

Tabla 27. Cuadro Validador Cumplimiento Estándar (VCE)

Criterio Verificación	Estándar del proceso 100% Cumplimiento	Verificación de Cumplimiento
¿La proporción de la mezcla de componentes que integran la masa, está acorde con el instructivo de dosificación para el producto en proceso?	100%	100%
¿El proceso de cilindrado, se está realizados con los 12 kilos de masa y pasa 2 veces por el cilindro?	100%	100%
¿El surtido en mesa y formado del producto, se está realizado con la maquina calibrada y con los ajustes de programación orientados en el Instructivo de uso?	100%	100%
¿Los moldes se encuentran preparados, limpios y bien dispuestos para el proceso de llenado?	100%	50%
¿Los colaboradores que recogen el producto, surtir molde y llenar carro, tiene capacitación previa a la ejecución del proceso?	100%	50%
¿Los parámetros temperatura (40°C) y humedad relativa (40%) del cuarto fermentador, se cumplen?	100%	0%
¿El horno se encuentra limpio y ordenado para su uso?	100%	100%
¿El horno se encuentra programado a 180 °C?	100%	50%
¿Se identifican el mobiliario requerido para el desmolde de los panes?	100%	100%
¿Se tiene capacidad de almacenamiento para el enfriamiento y reposo del Pan antes del empaque?	100%	50%
¿El personal de corte y empaque, están capacitados en la labor?	100%	100%
% Cumplimiento Genera	100%	73%

Fuente: elaboración propia usando Excel.

Como respuesta a la validación del (VCE), se puede determinar que se identifican oportunidades de mejorar en el cumplimiento del estándar, en los subprocesos de capacitación en la recolección del producto para surtir molde, los parámetros de temperatura y humedad relativa del cuarto fermentador, la temperatura del horno y la capacidad de almacenamiento.

Esta herramienta es de vital importancia para asegurar la calidad, ya que se pueden activar alarmas a los no cumplimientos, de modo que la gerencia o jefatura del proceso o los mismos empleados, ajusten el proceso para evitar desperdicios de material y tiempo del personal.

4.2.4 Ajuste

En el proceso de ajuste, se realiza reunión con las gerencias, donde se toman acciones en función de lo encontrado en los sistemas de retroalimentación.

Se atendieron tres aspectos en particular, lo pendiente por aplicar de la metodología, los resultados de la capacidad de producción y los resultados del cumplimiento del proceso.

Resultado de la reunión se genera plan de trabajo para ser ejecutado en la etapa de mejoramiento.

Tabla 28. Plan de trabajado para ajuste del proceso

Criterio	Incumplimiento	Plan de acción				Responsable	Recursos	Fecha
		Planear	Hacer	Velicar	Actuar			
Cumplimiento Metodología	No se ha validad la estructura de la PYME, con respecto al modelo operativo PYME propuesto	Realizar análisis de la estructura PYME.	Análisis de la estructura	Se caracteriza como una actividad a ejecutar a mediano plazo	Se deja registro en acta y se genera plan de trabajo.	Staff de apoyo	Tiempo laboral	jul-22
Capacidad de producción	Aunque se evidencia una relación coherente entre la capacidad de producción, con respecto a la medida por la herramienta, según la tendencia de la producción diaria tiende a bajar y la capacidad de lo producción se evidencia afectada por el cuello de botella del proceso menos eficiente 3.989 panes	Intervenir los procesos de Horneo y Fermentación	Evento Kaizen	Prioritaria	Se deja registro en acta y se genera plan de trabajo.	Todo el equipo	Tiempo laboral	jun-22
Cumplimiento Estándar Proceso	Con un cumplimiento del estándar del 73%, Se identifican cumplimiento del 50% en moldes, capacitación del personal, programación temperatura hornos y capacidad de almacenamiento y reposo del pan tajado que sale del horno. En el cuarto fermentador se identifica una calificación cero.	Intervenir el proceso de Horneo	Evento Kaizen	Prioritaria	Se deja registro en acta y se genera plan de trabajo.	Todo el equipo	Tiempo laboral	jun-22

Fuente: elaboración propia usando Excel.

4.2.5 Mejoramiento

Con base al plan de trabajo generado por la gerencia, se planea evento Kaizen para la intervención prioritaria de los procesos de Horneó y fermentación.

4.3 Ajustar metodología

Para el ajuste de la metodología, se debe asegurar que el proceso de aplicación de la Metodología Integradora, **Ver Figura 27**, inicie con mínimo un mes de uso, donde se puedan aplicar los instrumentos de validación y se tenga información del proceso, para tomar decisiones de ajuste con hechos y datos.

Como estamos aplicando una metodología orientada al mejoramiento continuo, las revisiones de los validadores deber ser periódicos (1 V/mes), para estar en sintonía con las nuevas tendencias del entorno y desafíos del mercado, es por esta razón que se recomienda a la Gerencia de la PYME, programado un comité de productividad o calidad, donde un punto de la agenda sea el seguimiento a los instrumentos validadores metodológicos, para generar planes de mejora para su ajuste.

Con respecto al instrumento de cumplimiento del estándar, la revisión debe ser (1 V/sem) o a criterio de la Gerencia o el Staff de apoyo, y el Data Studio debe estar configurado en los dispositivos móviles de los integrantes del equipo, para la toma de decisiones oportunas.

Con respecto al instrumento de retroalimentación de la capacidad de producción, la revisión debe ser constante y la plataforma de Ubidots, debe estar configurado en los dispositivos móviles de los integrantes del equipo, para la toma de decisiones oportunas.

Finalmente, el desarrollo del **capítulo 4**, permite la construcción de instrumentos de validación de la metodología integradora, la capacidad de producción y el cumplimiento del estándar del proceso. Estos validadores son de gran importancia, ya que la metodología integradora, se fundamenta en ciclos de mejoramiento, de modo que la retroalimentación constante es fundamental, para el buen desempeño de la metodología y su impacto en el mejoramiento del desempeño de las PYMEs.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura, permitió explorar de forma detallada los conceptos teóricos y científicos a la luz de las temáticas de estudio Gestión por Procesos, Lean Six Sigma, Industrias 4.0 y PYMEs, se definieron 10 preguntas de investigación que permitieron dar guía, en la definición de 11 ecuaciones de búsqueda, lo cual permitió identificar 512 artículos para la investigación, estos artículos fueron evaluados bajo criterios de inclusión y exclusión, filtrando para la investigación 105 artículos, de los cuales el 58% tienen afinidad con la siguiente agrupación LSS-PYMEs, el 29% con I4.0-PYMEs, el 12% LSS-I4.0 y por último, el 1% LSS-I4.0-PYMEs, dando el punto de partida para iniciar una investigación en la unión de estas tres temáticas.

El estudio de los artículos, ayudo a identificar en un rango de tiempo entre el año 2005 y el año 2020, que los autores que más participan en las publicaciones del LSS-PYMEs son Jiju Antony - Maneesh Kumar, I4.0-PYMEs son Erwin Rauch - Dominik T. Matt, LSS-I4.0 no se identifican autores relevantes, igualmente en LSS-I4.0-PYMEs. Con respecto a los países que más participan en las publicaciones están Reino Unido - India - Estados Unidos y Australia en LSS-PYMEs, Alemania, Italia, Reino Unido y Estados Unidos en I4.0-PYMEs, Reino Unido, India e Italia en LSS-I4.0. En LSS-I4.0-PYMEs aún no tiene países representativos.

Teniendo presente los componentes técnicos que se han identificado en el desarrollo del estado del arte y los consultados en la comunidad científica, se consolidaron los aportes derivados de las temáticas de estudio (GP, I4.0, LSS); permitiendo consolidar de forma holística, un inventario robusto de múltiples componentes, metodologías, técnicas y tecnologías, de modo que se puedan seleccionar adecuadamente con el potencial de aplicarlas en la metodología integradora; de este ejercicio se ponen a disposición 26 componentes de la GP, 22 componentes del LSS y 19 componentes de la I4.0, con la ayuda de métodos de selección, se definen los siguientes componentes que aportan a la metodología

integradora: GP (Mejora continua-PHVA, Liderazgo, Participación del personal, Macroproceso, Estándar proceso). LSS (DMAIC, Kaizen, Trabajo estandarizado, 5's, KPIs) e I4.0. (Internet de las cosas, Análisis de Big Data, Computación en la NUBE, Simulación).

El análisis de las estructuras organizacionales, permitieron el modelado de la estructura operativa de la mediana empresa (PYMEs), la cual nace de una necesidad de conocer en detalle sus elementos estructurales de modo que se identifiquen puntos críticos y de acople para adaptar los fundamentos de GP, LSS y I4.0. De este modo el primer atributo de la estructura propuesta nace de una estructura simple acotada en la línea media, pero con supervisión directa mínima, donde se mantiene la cumbre estratégica que lidera el gerente o dueño de la empresa; en esta estructura se identifica de forma representativa y más relevante el núcleo operativo presentado por los operarios que son los que ejecutan el proceso de transformación de materias primas en productos terminados para una posterior comercialización, dentro del esquema también participan criterios como, tecnoestructura, Adhocracia, Staff de apoyo, eventos Kaizen, estandarización de los procesos operativos, capacidad adaptativa y ecosistema PYME.

Se construyó el diseño de la metodología para la integración de la gestión por procesos, la tecnología de la Industria 4.0 y los principios Lean Six Sigma en las PYMEs manufactureras, por medio de la consolidación de los componentes desarrollados a lo largo de los capítulos de esta tesis. Esta metodología está conformada por seis aspectos estructurales metodológicos de base, que llamaremos elementos del constructo y cinco ciclos de mejora que llamaremos componentes técnicos y tecnológicos; Estos componentes tienen cualidades de forma individual, pero su conexión como sistema de mejoramiento continuo, se acoplan de forma eficiente y cronológica, a través de sus elementos de entradas y salidas, lo que significa que, la salida de un componente, es la entrada del otro, en un ciclo de mejoramiento continuo. También es importante mencionar que, en el centro del modelo, se posiciona la estructura operativa PYME, la cual es la protagonista del mejoramiento, interactuando con el ciclo de mejora para generar oportunidades de mejora e implementación de las mismas.

Se desarrollan instrumentos de validación, los cuales permiten retroalimentar el desempeño de la aplicación de la metodología bajo dos perspectivas: la primera, en evaluar la aplicación de la metodología, por medio de una verificación al proceso metodológico, a través de una lista de chequeo. La segunda, es el monitoreo del validador de la capacidad del proceso y el validador del cumplimiento del estándar, los cuales permiten evaluar el impacto del uso de la metodología en función del

tiempo, en el mejoramiento de la capacidad de producción y el mejoramiento de la calidad.

5.2 Recomendaciones

Se ajustará el material resultante del desarrollo metodológico y validador, a la estructura guiada por revista científica, para someter a publicación, dicho desarrollo.

Se aumentará la oferta para empresas mediana (PYMEs), que potencialmente tengan la disponibilidad de implementar la metodología integradora, de modo que se pueda refinar, con base a su sistema validador y su capacidad de mejoramiento del desempeño PYME.

Se recomienda explorar la aplicación de otros componentes relacionados con las temáticas de estudio (GP, LSS, I4.0), dentro del alcance de la misma metodología integradora, a medida que las empresas maduren en sus procesos de estandarización, usos de las técnicas e implantación de tecnologías, permitiendo enfrentar mayores desafíos que demande el entorno industrial.

Anexos

A. Lean Six Sigma e Industria 4.0 en Las Pymes Manufactureras: una revisión de la literatura

De: **REVISTA CRITERIO LIBRE** <revistacriteriolibre@unilibrebog.edu.co>

Date: mié, 18 may 2022 a las 8:12

Subject: Re: Evaluación Artículo

To: Alexander Alberto Correa Espinal <alcorrea@unal.edu.co>

Estimado Doctor Alexander: Cordial saludo.

Me es grato informarles que el Comité Editorial ha aprobado la publicación de su artículo, lo cual contribuye a fortalecer la calidad académica y científica de nuestra Revista. Felicitaciones.

Le estoy anexando el formato que nos permite oficializar y formalizar la respectiva publicación. Le ruego diligenciarlo y enviarlo por esta misma vía.

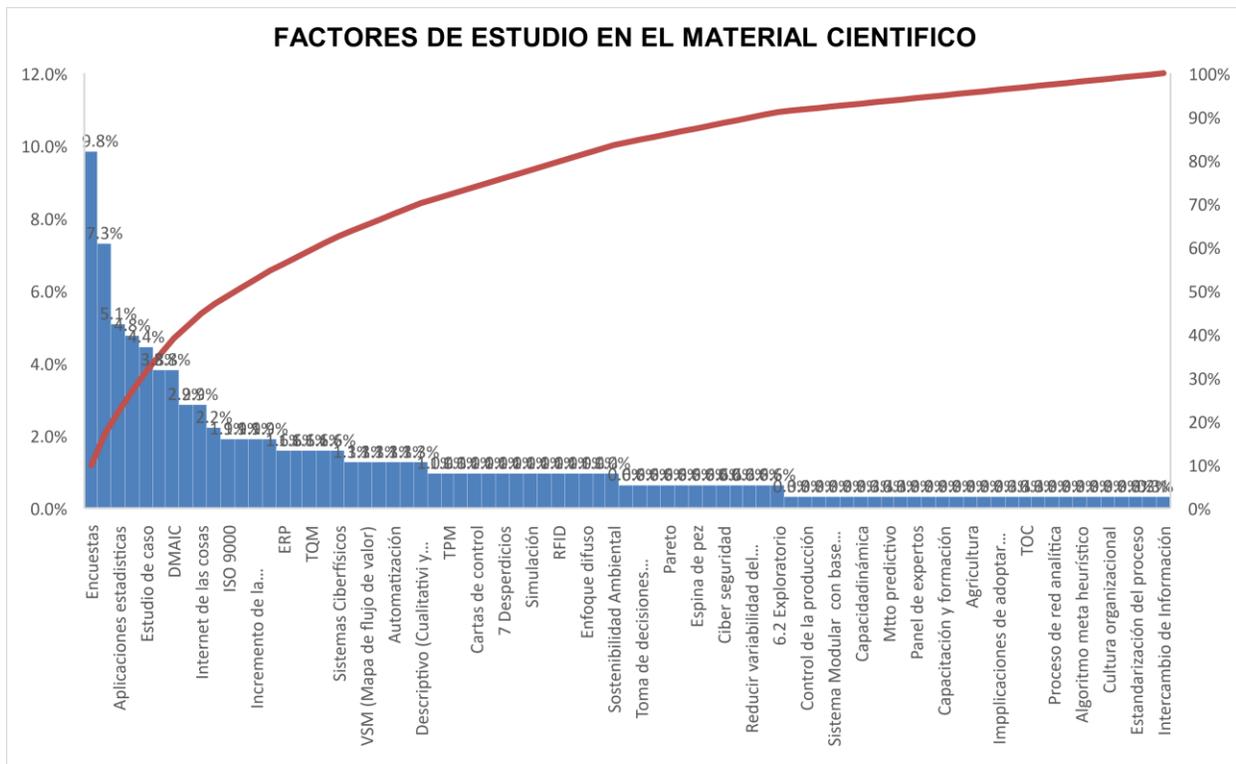
Gracias por su interés en publicar en nuestra Revista.

Cordialmente,

José Joaquín Ortiz Bojacá, Ph.D.
Director Revista CRITERIO LIBRE

Lizeth Vargas Sierra
Asistente Revista CRITERIO LIBRE

B. Diagrama de Pareto – Factores de estudio.



D. Perfiles profesionales participantes en la calificación.

Experto 1.	
Nombre del experto:	Jorge Mario Garzón González
Profesión:	Ingeniero Electrónico
Formación Posgradual:	Magister en Ingeniería
Años de experiencia:	15
Sectores:	Manufactura y Académico
Enfoque:	Tecnologías I4.0
Experto 2.	
Nombre del experto:	Sebastian Ceballos Uribe
Profesión:	Ingeniero Industrial
Formación Posgradual:	Gerencia de proyectos - Gerencia de Innovación
Años de experiencia:	15
Sectores:	Floricultor, comunicaciones móviles, financiero, gremial empresarial y educativo
Enfoque:	GP-LSS - I4.0
Experto 3.	
Nombre del experto:	Jaime de Jesús Mosquera Orozco
Profesión:	Ingeniero mecánico
Formación Posgradual:	Especialista en gerencia - Magíster en educación
Años de experiencia:	Sector privado: 24 años
Sectores:	Producción textil - confección
Enfoque:	GP-LSS - I4.0

E. Resultado calificación Matriz Esfuerzo e Impacto

GP	GP. Impacto	GP. Esfuerzo	LSS	LSS. Impacto	LSS. Esfuerzo	I4.0	I4.0. Impacto	I4.0. Esfuerzo
Mejora continua-PHVA	45	10	DMAIC	50	20	Internet de las cosas	45	20
Liderazgo	45	15	Kaizen	50	15	Análisis de Big Data	40	15
Participación del personal	40	20	Trabajo estandarizado	45	20	Computación en la NUBE	45	15
Macroproceso	30	20	5's	45	15	Simulación	40	20

Estándar proceso	40	15	KPIs	40	15	Robots autónomos	40	50
Procesos de apoyo	45	45	La Voz del Cliente, VOC	45	30	Ciber-seguridad	40	45
Enfoque al cliente	40	45	Cuadro de Mando Integral, BSC	40	30	Integración horizontal y vertical del sistema	45	30
Procesos estratégicos	35	35	Diseño de Experimentos, DOE	40	30	Nuevos materiales	40	45
Eficiencia	35	40	SMED	35	30	Sistemas Ciber físicos	45	20
Sistema	30	35	Herramientas estadísticas	35	30	Fabricación o manufactura aditiva (Impresión 3D)	30	45
Norma	30	45	Gráfica de control	35	30	Inteligencia artificial	35	40
Cliente	25	40	Histograma	30	30	Realidad aumentada	20	35
Proceso operativo	25	30	Diagrama de causa-efecto	30	30	Criptomoneda	20	50
Proceso clave	25	35	VSM - Mapeo de la cadena de valor Los	25	25	Computación cuántica	20	50
Enfoque basado en procesos	20	10	Poka Yoke	20	25	Nanotecnología	20	50
Subprocesos	20	30	TPM	25	45	Blockchain	20	40
Actividad	20	20	JustinTime	20	45	Secuencia del genoma	10	50
Tarea	20	25	Kanban	20	30	Biología sintética	10	50
Producto	20	45	Análisis de Varianza, ANOVA	20	20	Ingeniería genética	10	50
Requisito	20	15	Control Estadístico de Procesos	20	20			
Eficacia	20	35	Diagrama de Pareto	20	30			
Enfoque de sistema para la gestión	15	15	Diagrama de flujo de procesos	15	15			
Regla	15	15						
Calidad	15	15						
Capacidad	15	35						

F. Base de Datos Ubidots

<i>Fecha</i>	<i>Ubidots</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ubidots</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ubidots</i>
11-abr	2,896	2-may	4,697	1-jun	5,091
13-abr	4,479	3-may	5,859	2-jun	3,421
14-abr	3,481	5-may	5,293	6-jun	3,253
16-abr	4,831	6-may	3,125	7-jun	2,374
18-abr	4,850	7-may	4,234	8-jun	4,108
19-abr	4,150	9-may	5,006		
20-abr	4,105	10-may	5,470		
21-abr	4,274	11-may	3,426		
22-abr	3,627	12-may	4,515		
23-abr	4,275	13-may	3,617		
25-abr	4,455	14-may	3,771		
26-abr	4,561	16-may	4,605		
27-abr	3,703	17-may	4,346		
28-abr	4,209	18-may	3,641		
29-abr	4,289	19-may	4,380		
30-abr	3,544	20-may	4,197		
		21-may	3,981		
		23-may	2,426		
		24-may	2,705		
		25-may	3,211		
		26-may	2,277		
		27-may	4,210		
		28-may	2,845		
		30-may	1,502		
		31-may	3,670		

Bibliografía

- (OCDE), O. de C. y D. E. (2009). *Competencia en Colombia*.
- Adu-Amankwa, K., Attia, A. K. A., Janardhanan, M. N., & Patel, I. (2019). A predictive maintenance cost model for CNC SMEs in the era of industry 4.0. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *104*(9–12), 3567–3587. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04094-2>
- Agostini, L., & Nosella, A. (2019). The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study. *Management Decision*, *58*(4), 625–643. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-0973>
- Ahmad, M. F., Zainudin, M. H. H., Hamid, N. A., Ahmad, A. N. A., Rahman, N. A. A., & Nawi, M. N. M. (2019). Critical success factors of lean six sigma and its relation on operational performance of SMEs manufacturing companies: A survey result. *International Journal of Supply Chain Management*, *8*(1), 64–69.
- Alarcon, J., & Sepulveda., M. (2014). La conducta adaptativa como criterio diagnóstico de discapacidad intelectual en estudiantes de Chile *. *Latinoamericana & Sociales*, *12*, 187–199. <https://doi.org/10.11600/1692715x.12110091713>
- Albliwi, S., Antony, J., Lim, S. A. H., & van der Wiele, T. (2014). Critical failure factors of lean Six Sigma: A systematic literature review. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *31*(9), 1012–1030. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2013-0147>
- Alexander, P., Antony, J., & Rodgers, B. (2019). Lean Six Sigma for small- and medium-sized manufacturing enterprises: a systematic review. In *International Journal of Quality and Reliability Management* (Vol. 36, Issue 3, pp. 378–397). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2018-0074>
- Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 325–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.146>
- Ali, Y., Younus, A., Khan, A. U., & Pervez, H. (2020). Impact of Lean, Six Sigma and environmental sustainability on the performance of SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2019-0528>
- Alshammari, A., Redha, S., Hussain, S., Nazzal, T., Kamal, Z., & Smew, W. (2018). Quality improvement in plastic injection molding industry: Applying

- Lean Six Sigma to SME in Kuwait. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018-March*, 2856–2865.
- Alsmadi, M., & Khan, Z. (2010). Lean sigma: The new wave of business excellence, literature review and a framework. *2010 2nd International Conference on Engineering System Management and Applications, ICESMA 2010*.
- Alvarez, Y. A. A. (2015). *Análisis de las herramientas Lean Manufacturing para la eliminación de desperdicios en las Pymes*. 145.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/48916/>
- Amjad, M. S., Rafique, M. Z., Hussain, S., & Khan, M. A. (2020). A new vision of LARG Manufacturing — A trail towards Industry 4.0. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31(2019), 377–393.
<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.06.012>
- Antony, J., Kumar, M., & Labib, A. (2008). Gearing Six Sigma into UK manufacturing SMEs: Results from a pilot study. *Journal of the Operational Research Society*, 59(4), 482–493.
<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602437>
- Antony, J., Kumar, M., & Madu, C. N. (2005). 1.Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22(8), 860–874.
<https://doi.org/10.1108/02656710510617265>
- Anuar, A., Sadek, D. M., Abdull Rahman, N. L., & Othman, N. (2020). Lean principles improving entrepreneurial ecosystem in Malaysian SMEs. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(4), 73–77.
- Arias, A. (2013). La Gestión de los Procesos. *Facultad de Ciencias de La Documentación*, 0–78.
<http://pendientedemigracion.ucm.es/centros/cont/descargas/documento10142.pdf>
- Bazan-Rios, K., Chavez-Canales, C., Ramos-Palomino, E., Eyzaguirre-Munarriz, J., & Mesia, R. (2019). An integrated system: Lean, six sigma and theory of constraints, a study applied in wooden furniture industry in Lima, Peru. *Proceedings - 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, 347–352.
<https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00070>
- Beltrán, J., Carmona, M., Pérez, R. C., Rivas, M. Á., & Tejedor, F. (2009). Guía para una gestión basada en procesos. *Centro Andaluz Para La Excelencia En La Gestión*.
- Bhat, V. S., Bhat, S., & Gijo, E. V. (2020). Simulation-based lean six sigma for Industry 4.0: an action research in the process industry. *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2020-0167>
- Bravo C., J. (2009). *Gestión de Procesos* (E. E. S.A. (ed.)).
- Chen, C. L. (2020). Cross-disciplinary innovations by Taiwanese manufacturing SMEs in the context of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(6), 1145–1168. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0301>

- Chiarini, A., & Kumar, M. (2020). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>
- Chinchilla, M., Borges, D., Bautista, N., & Murillo, M. (2020). Elementos básicos de la cuarta revolución industrial. *Mideplan*.
- Chiner, E., Martín, Y. S., Hurtado, J., Lazos, R. J., & Hernández, I. (2004). La Validación De Métodos : Un Enfoque Práctico. *Cenida.Una.Edu.Ni*, 1–13. <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/TA-090.pdf%0Ahttps://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigacioc81n-guicc81a-para-la-comprensio81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf%0Ahttp://dip.una.edu.ve/>
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0135>
- Ley 905 de 2004, 2004 Congreso de Colombia 14 (2004).
- Ley 1450 de 16 Junio 2011, 90 (2014).
- Ley 590 de 2000, 2000 Colombia 16 (2000). http://www.imprenta.gov.co/gacetap/gaceta.mostrar_texto?p_tipo=06&p_numero=590&p_consec=976%5Cnhttp://www.supersociedades.gov.co/superintendencia/normatividad/Documents/Forms/DispForm.aspx?ID=148
- Covey, S., Mcchesney, C., Huling, J., & Miralles, J. (2013). *Las 4 Disciplinas de la Ejecución*.
- da Fonseca, L. M. C. M. (2017). In search of Six Sigma in Portuguese SMEs. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(1), 31–38.
- da Silva, F. F., Filser, L. D., Juliani, F., & de Oliveira, O. J. (2018). Where to direct research in lean six sigma?: Bibliometric analysis, scientific gaps and trends on literature. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(3), 324–350. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2017-0052>
- Darwin, C. (1921). *Por Medio De La Selección Natural*. 1, 161.
- Dassisti, M., Giovannini, A., Merla, P., Chimienti, M., & Panetto, H. (2019). An approach to support Industry 4.0 adoption in SMEs using a core-metamodel. *Annual Reviews in Control*, 47, 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.11.001>
- Dini, M., & Stumpo, G. (2018). *Mipymes en América Latina Un frágil desempeño y nuevos desafíos para las políticas de fomento*. www.cepal.org/es/suscripciones
- Dora, M., & Gellynck, X. (2015). Lean Six Sigma Implementation in a Food Processing SME: A Case Study. *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1151–1159. <https://doi.org/10.1002/qre.1852>
- Dutta, G., Kumar, R., Sindhvani, R., & Singh, R. K. (2020). Digital transformation priorities of India's discrete manufacturing SMEs – a conceptual study in perspective of Industry 4.0. *Competitiveness Review*, 30(3), 289–314.

- <https://doi.org/10.1108/CR-03-2019-0031>
- Eguren, M., & Castán, J. (2016). Análisis taxonómico de la literatura : herramientas metodológicas para la gestión y creación Estrategia y Organizaciones. *Revista Innovar*, 26(62), 41–56.
<https://doi.org/10.15446/innovar.v26n62.59387>.CITACI
- Eichholz, J. C. (2017). *Capacidad Adaptativa*.
- Fantoni, G., Al-Zubaidi, S. Q., Coli, E., & Mazzei, D. (2020). Automating the process of method-time-measurement. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2019-0404>
- Felizzola, H., & Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico Lean Six Sigma in small and medium enterprises: a methodological approach. *Revista Chilena De Ingenieria*, 22(2), 263–277.
- Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: Un enfoque metodológico. *Ingeniare*, 22(2), 263–277.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>
- Flor Vallejo, V., Antony, J., Douglas, J. A., Alexander, P., & Sony, M. (2020). Development of a roadmap for Lean Six Sigma implementation and sustainability in a Scottish packing company. *TQM Journal*, 32(6), 1263–1284. <https://doi.org/10.1108/TQM-02-2020-0036>
- Fuentes, Y., Barrientos, E., & Pabón, J. (2021). Liderazgo organizacional. una revisión sistemática y análisis bibliométrico. *Criterio Libre*, 307–325.
<https://doi.org/doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2021v19n35.7280>
- Garbellano, S., & Da Veiga, M. do R. (2019). Dynamic capabilities in Italian leading SMEs adopting industry 4.0. *Measuring Business Excellence*, 23(4), 472–483. <https://doi.org/10.1108/MBE-06-2019-0058>
- Gnanaraj, S. M., Devadasan, S. R., Murugesh, R., & Sreenivasa, C. G. (2012). Sensitisation of SMEs towards the implementation of Lean Six Sigma-an initialisation in a cylinder frames manufacturing Indian SME. *Production Planning and Control*, 23(8), 599–608.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2011.572091>
- Gran, L. A. (2019). *La gran encuesta Pyme - Lectura Nacional*.
- Grudowski, P., Wiśniewska, M., & Leseure, E. (2015). Lean Six Sigma in French and Polish small and medium-sized enterprises. The pilot research results. *Key Engineering Materials*, 637, 1–6.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.637.1>
- Grudowski, P., Wiśniewska, M., & Zajkowska-Leseure, E. (2014). Needs and problems of SMEs in the context of Lean Six Sigma methodology. French and Polish perspective. *11th IMEKO TC14 Symposium on Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry, LMPMI 2014*, 78–81.
- Hernández, I., & Uscanga, Y. (2015). La Metodología Lean Seis Sigma, sus Herramientas y ventajas. *Universidad Veracruzana*.
- Hernández Sampieri, R., Feránadez, C., & Baptista, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*.
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta->

- edicion.compressed.pdf
- Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowe, S., & Dargusch, M. S. (2019). Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, 52(April), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>
- Innpulsa Colombia, & Universidad Nacional de Colombia. (2017). Ecosistemas Regionales de Emprendimiento en Colombia. *Innpulsa, Colombia*, 1–293.
- Isaacson, W. (2014). Steve Jobs Lecciones de liderazgo. *Penguin Random House Grupo Editorial, S. A.*
- ISO9000. (2000). *Traducción certificada Certified translation Traduction certifiée ISO. 2000.*
- Iyede, R., Fallon, E. F., & Donnellan, P. (2018). An exploration of the extent of Lean Six Sigma implementation in the West of Ireland. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(3), 444–462. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2017-0018>
- Jayaraman, K., Kee, T. L., & Soh, K. L. (2012). The perceptions and perspectives of Lean Six Sigma (LSS) practitioners : An empirical study in Malaysia. *TQM Journal*, 24(5), 433–446. <https://doi.org/10.1108/17542731211261584>
- Jha, R., & Saini, A. K. (2011). ERP redefined: Optimizing parameters with lean six sigma for small & medium enterprises. *Proceedings - 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CSNT 2011*, 683–687. <https://doi.org/10.1109/CSNT.2011.147>
- Jones, D. T., & Womack, J. P. (1985). Publishers Weekly Yearbook: News, Analyses and Trends in the Book Industry . *The Library Quarterly*, 55(1), 122–124. <https://doi.org/10.1086/601582>
- Jr., L. V. G. (2003). Who Says Elephants Can't Dance? *Far Eastern Economic Review*, 166(50), 57.
- Khanzode, A. G., Sarma, P. R. S., Mangla, S. K., & Yuan, H. (2021). Modeling the Industry 4.0 adoption for sustainable production in Micro, Small & Medium Enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123489>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in SE*. 1–44. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>
- Kumar, M., & Antony, J. (2008). 4. Comparing the quality management practices in UK SMEs. *Industrial Management & Data Systems*, 108(9), 1153–1166. <https://doi.org/10.1108/02635570810914865>
- Kumar, M., & Antony, J. (2009). 6. Multiple case-study analysis of quality management practices within UK Six Sigma and non-Six Sigma manufacturing small- and medium-sized enterprises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(7), 925–934. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1288>
- Kumar, M., Antony, J., & Douglas, A. (2009). 7. Does size matter for six sigma implementation? Findings from the survey in UK SMEs. *TQM Journal*, 21(6), 623–635. <https://doi.org/10.1108/17542730910995882>

- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006).
2. Implementing the lean sigma framework in an Indian SME: A case study.
Production Planning and Control, 17(4), 407–423.
<https://doi.org/10.1080/09537280500483350>
- Kumar, M., Khurshid, K. K., & Waddell, D. (2014). Status of Quality Management practices in manufacturing SMEs: A comparative study between Australia and the UK. *International Journal of Production Research*, 52(21), 6482–6495.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.948574>
- Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- Kumar Sharma, R., & Gopal Sharma, R. (2014). Integrating six sigma culture and TPM framework to improve manufacturing performance in SMEs. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(5), 745–765.
<https://doi.org/10.1002/qre.1525>
- La, V. D. E., & Mercantil, C. (1971). *Código de Comercio*. 1971(Marzo 27).
- Li, D., Fast-Berglund, Å., & Paulin, D. (2019). Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing: Case of two Swedish SMEs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3951–3963. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03942-5>
- Maria, P., & Cortés, G. (2018). Cambio y adaptación organizacional . Una revisión de la literatura Change and organizational adaptation . A literature review. *Espacios*, 1997.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>
- Matías, J. C. H., & Idoipe, A. V. (2013). *Lean Manufacturing - Conceptos, técnicas e implantación*.
- McAdam, R., Antony, J., Kumar, M., & Hazlett, S. A. (2014). Absorbing new knowledge in small and medium-sized enterprises: A multiple case analysis of Six Sigma. *International Small Business Journal*, 32(1), 81–109.
<https://doi.org/10.1177/0266242611406945>
- Mehrjerdi, Y. Z. (2013). A framework for Six-Sigma driven RFID-enabled supply chain systems. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 30(2), 142–160. <https://doi.org/10.1108/02656711311293562>
- Mercader, R., & Santos, R. (1999). Modelo para la gestión del cambio organizacional en las pymes. *Universidad de Murcia*, 25.
- Michna, A., & Kmiecik, R. (2020). *Financial Performance , and Industry 4 . 0 in SMEs*.
- Ministry of Entrepreneur Development and Cooperatives. (2020). Malaysia National Entrepreneurship Policy 2030. *Book*, 76.
<https://www.conamype.gob.sv/>
- Mintzberg, H. (1991). Diseño de organizaciones eficientes. In *McGill University Biblioteca de Ciencias Económicas Serie: dirección de Empresas*.
<https://tecnoadministracionpub.files.wordpress.com/2016/08/u2-mintzberg->

- e28093-disec3b1o-de-organizaciones-eficientes.pdf
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49(October), 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384–1400. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323>
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2014). Preferred Reporting Items For Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Physical Therapy*, 89(9), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moya, C. A., Galvez, D., Muller, L., & Camargo, M. (2019). A new framework to support Lean Six Sigma deployment in SMEs. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 58–80. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-01-2018-0001>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132(January), 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2018). Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 5(5), 659–670. <https://doi.org/10.1007/s40684-018-0056-z>
- Nieto., V. M., Timote., J. A., Sanchez., A. F., & Villarreal., S. (2015). La clasificación por tamaño empresarial en Colombia: Historia y limitaciones para una propuesta. *Departamento Nacional de Planeación*, 54. <https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx>
- Nunes, I. L. (2015). Integration of Ergonomics and Lean Six Sigma. A Model Proposal. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 890–897. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.124>
- Pagliosa, M., Tortorella, G., & Ferreira, J. C. E. (2019). Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2018-0446>
- Park, S. H., Dhalgaard-Park, S. M., & Kim, D. C. (2020). New paradigm of lean six sigma in the 4th industrial revolution era. *Quality Innovation Prosperity*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.12776/QIP.V24I1.1430>
- Pepper, M. P. J., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma.

- International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(2), 138–155.
<https://doi.org/10.1108/02656711011014276>
- Prashar, A. (2018). Toward cycle time reduction in manufacturing SMEs: Proposal and evaluation. *Quality Engineering*, 30(3), 469–484.
<https://doi.org/10.1080/08982112.2018.1460669>
- Prause, M. (2019). Challenges of Industry 4.0 technology adoption for SMEs: The case of Japan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20).
<https://doi.org/10.3390/su11205807>
- R, V., & Vinodh, S. (2020). Development of a structural model based on ISM for analysis of barriers to integration of leanwith industry 4.0. *TQM Journal*.
<https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0151>
- Raghunath, A., & Jayathirtha, R. V. (2014). Six sigma implementation by Indian manufacturing smes - an empirical study. *Academy of Strategic Management Journal*, 13(1), 35–56.
- Ramirez-Peña, M., Sánchez Sotano, A. J., Pérez-Fernandez, V., Abad, F. J., & Batista, M. (2020). Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. *Journal of Cleaner Production*, 244, 0–21.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118789>
- Ramkumar, P. N., & Satish, K. P. (2020). Statistical investigation of Lean Six Sigma for waste reduction in Indian SMES by identify rank define analyse improve control model. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 30(2), 252–277. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2020.107815>
- Ramkumar, P. N., Satish, K. P., & Venugopal, P. V. (2019). Ranking of the seven wastes (Muda) for lean six sigma implementation in indian SMEs. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(6), 1269–1274.
- Rave, J. P., la Rotta, D., Sánchez, K., Madera, Y., Restrepo, G., Rodríguez, M., Vanegas, J., & Parra, C. (2011). Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en nueve pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo. *Ingeniare*, 19(3), 14.
- Reatiga, J. S. Q. (2018). Las Pymes en Colombia y las barreras para su desarrollo y perdurabilidad. [UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA]. In *Director* (Vol. 15, Issue 2).
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Reisman, A. (2004). How can OR/MS Educators Benefit From Creating and Using Taxonomies? *INFORMS Transactions on Education*, 4(3), 55–65.
<https://doi.org/10.1287/ited.4.3.55>
- Richards, D. A., Hanssen, T. A., & Borglin, G. (2018). The Second Triennial Systematic Literature Review of European Nursing Research: Impact on Patient Outcomes and Implications for Evidence-Based Practice. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 15(5), 333–343.
<https://doi.org/10.1111/wvn.12320>
- Rishi, J. P., Srinivas, T. R., Ramachandra, C. G., & Ashok, B. C. (2018). Implementing the Lean Framework in a Small & Medium & Enterprise (SME) - Acase Study in Printing Press. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 376(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/376/1/012126>

- Rodríguez, I., & Alpuin, D. (2014). La Gestión por Procesos en las Organizaciones La forma en la que los resultados se logran Reflexiones. *Vision Deloitte*.
- Sahi, G. K., Gupta, M. C., & Cheng, T. C. E. (2020). The effects of strategic orientation on operational ambidexterity: A study of indian SMEs in the industry 4.0 era. *International Journal of Production Economics*, 220(August 2018), 107395. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.014>
- Sevinç, A., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process. *Processes*, 6(12). <https://doi.org/10.3390/pr6120264>
- Shah, P. P., & Shrivastava, R. L. (2013). Identification of performance measures of Lean Six Sigma in small- and medium-sized enterprises: A pilot study. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 8(1), 1–21. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2013.059768>
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Zarreh, A. (2020). Frameworks Proposed to Address the Threat of Cyber-Physical Attacks to Lean 4.0 Systems. *Procedia Manufacturing*, 51(2019), 1184–1191. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.166>
- Shokri, A. (2019). Reducing the scrap rate in manufacturing SMEs through Lean Six Sigma methodology: an action research. *IEEE Engineering Management Review*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/emr.2019.2931184>
- Shokri, A., Waring, T. S., & Nabhani, F. (2016). Investigating the readiness of people in manufacturing SMEs to embark on Lean Six Sigma projects: An empirical study in the German manufacturing sector. *International Journal of Operations and Production Management*, 36(8), 850–878. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-11-2014-0530>
- Sloan, A. P. (2005). *The Leadership Genius Of Alfred P. Sloan*. McGraw-Hill.
- Sodhi, H. S., Singh, D., & Singh, B. J. (2020). Lean Six Sigma practices a competitive priority in SME's: A critical review. *International Journal of Agile Systems and Management*, 13(1), 60–78. <https://doi.org/10.1504/IJASM.2020.105881>
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512–1532. <https://doi.org/10.3926/jiem.1470>
- Sony, M. (2020). Design of cyber physical system architecture for industry 4.0 through lean six sigma: conceptual foundations and research issues. *Production and Manufacturing Research*, 8(1), 158–181. <https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1774814>
- Sreedharan, R. V., Sunder, V. M., & Raju, R. (2018). Critical success factors of TQM, Six Sigma, Lean and Lean Six Sigma: A literature review and key findings. In *Benchmarking* (Vol. 25, Issue 9, pp. 3479–3504). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2017-0223>
- Sreedharan V, R., Raju, R., Sunder M, V., & Antony, J. (2019). Assessment of Lean Six Sigma Readiness (LESIRE) for manufacturing industries using fuzzy logic. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 36(2), 137–

161. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2017-0181>
- Sriram, R. M., & Vinodh, S. (2020). Analysis of readiness factors for Industry 4.0 implementation in SMEs using COPRAS. *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2020-0121>
- Taylor, F. W. (1919). *The principles of scientific management*. Harper y Brothers Publishers.
- Técnica, N. (2017). *COLOMBIANA NTC-ISO / IEC 17025* (Issue 571).
- Thomas, A., Barton, R., & Chuke-Okafor, C. (2009). 9.Applying lean six sigma in a small engineering company - A model for change. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 113–129. <https://doi.org/10.1108/17410380910925433>
- Thomas, A. J., Ringwald, K., Parfitt, S., Davies, A., & John, E. (2014). An empirical analysis of lean six sigma implementation in SMES-a migratory perspective. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(8), 888–905. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2013-0070>
- Thomas, A., & Lewis, G. (2007). 3.Developing an SME-based integrated TPM – Six Sigma strategy. 3(3), 228–247.
- Thomas, Ciliska, D., Dobbins, M., & Micucci, S. (2004). A process for systematically reviewing the literature: Providing the research evidence for public health nursing interventions. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 1(3), 176–184. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2004.04006.x>
- Timans, W., Antony, J., Ahaus, K., & Van Solingen, R. (2012). Implementation of Lean Six Sigma in small-and medium-sized manufacturing enterprises in the Netherlands. *Source: The Journal of the Operational Research Society*, 63(3), 339–353. <https://doi.org/10.1057/jors.201>
- Titmarsh, R., Assad, F., & Harrison, R. (2020). Contributions of lean six sigma to sustainable manufacturing requirements: An industry 4.0 perspective. *Procedia CIRP*, 90, 589–593. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.044>
- Tortorella, G. L., Giglio, R., & van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations and Production Management*, 39, 860–886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
- Tovar, R., & Arturo, L. (2002). Nuevas Formas De Organización. *Estudios Gerenciales*, unknown(82), 13–45. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2002.77>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review* Introduction: the need for an evidence- informed approach. *British Journal of Management*, 14, 207–222.
- Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/pr7030153>
- Uriarte, A. G., Ng, A. H. C., & Moris, M. U. (2018). Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 25, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>

- Valdés, J., & Sánchez, G. (2012). Las Pymes en el contexto mundial: Sus particularidades en México. *Iberóforum. Revista de Ciencias Sociales de La Universidad Iberoamericana*, VII, 126–156.
- Velasco, R., Ordóñez, C., & Restrepo, M. (2020). Analítica. *Innpulsa Colombia*, 107.
- Velásque, Lady, López, L., & Palencia, A. (2019). Aspectos Básicos de la Industria 4.0. *Ministerio de Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones*.
- Vinodh, S., Antony, J., Agrawal, R., & Douglas, J. A. (2020). Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research. *TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0157>
- Welch, J. (2004). El Liderazgo según Jack Welch. *McGraw-Hill*, 154.
- Yadav, N., Shankar, R., & Singh, S. P. (2020). Impact of Industry 4.0/ICTs, Lean Six Sigma and quality management systems on organisational performance. *TQM Journal*, 32(4), 815–835. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2019-0251>
- Yıldızbaşı, A., & Ünlü, V. (2020). Performance evaluation of SMEs towards Industry 4.0 using fuzzy group decision making methods. *SN Applied Sciences*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2085-9>
- Yusoff, W. F. W., Gafar, M., Zabri, S. M., & Omar, S. S. (2016). An analysis of entrepreneurial ecosystem among Small Medium Industries (SMEs) in Malaysia: A proposed model. *International Business Management*, 10(17), 3762–3769.
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M. G., & Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. *Processes*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zambon, I., Egidi, G., Rinaldi, F., & Cividino, S. (2019). Applied research towards Industry 4.0: Opportunities for SMEs. *Processes*, 7(6), 1–7. <https://doi.org/10.3390/pr7060344>