

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE GESTIÓN Y ALTA DIRECCIÓN**



**Transformación 4.0 en el sector Textil-Confecciones: caso  
Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.**

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Gestión con mención en  
Gestión Empresarial presentada por:

BRIONES DEZA, Renzo

Tesis para obtener el título profesional de Licenciada en Gestión con mención en  
Gestión Empresarial presentada por:

MEDINA BALSECA, Miluska Veronica

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Gestión con mención en  
Gestión Pública presentada por:

MARINELLI TAGLIAVENTO, Stefano

Asesorados por: Mgtr. German Adolfo Velasquez Salazar

**Lima, setiembre del 2020**

La tesis

**Transformación 4.0 en el sector Textil-Confecciones: caso Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.**

ha sido aprobada por:

---

Mgr. Maria de Fatima Ponce Regalado

[Presidente del Jurado]

---

Mgr. German Adolfo Velasquez Salazar

[Asesor Jurado]

---

Dr. Berlan Rodriguez Perez

[Tercer Jurado]

Dedicado a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente en este proceso: a mis padres, por darme la posibilidad de poder estudiar y desarrollarme profesionalmente; a mis hermanos, por servir de motivación a ser su modelo; y a Miluska y Stefano, por su esfuerzo y dedicación durante estos meses.

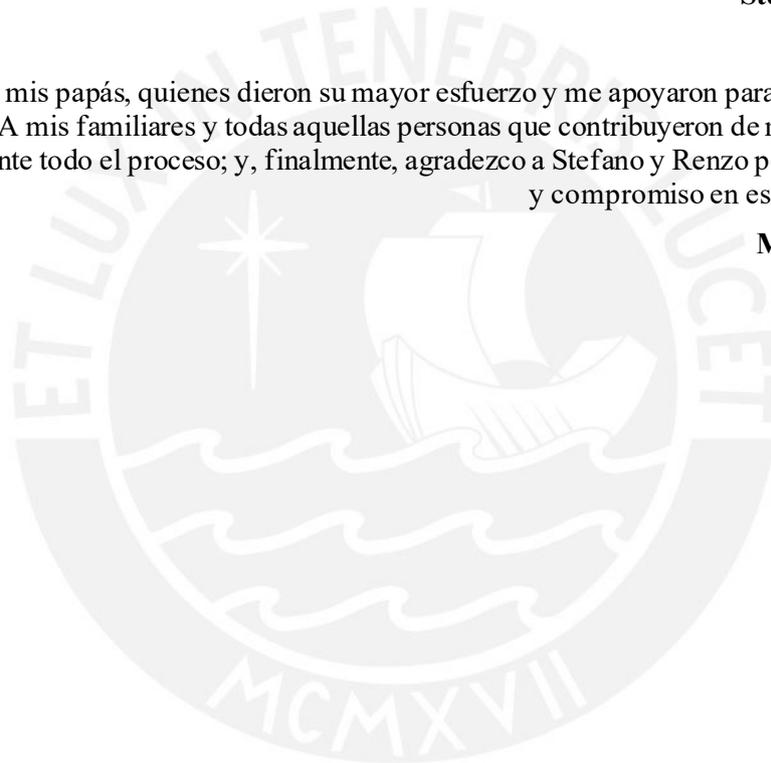
**Renzo Briones**

Dedico esta investigación a todas aquellas personas que me permitieron estudiar sin recibir nada a cambio. A mis padres, que desde pequeño me enseñaron a ser una buena persona y siempre buscaron darme lo mejor sin dudar. A mis hermanos, quienes me impulsaron a ser mejor persona y, dentro de una sana competencia, a ser mejor estudiante. Finalmente, agradezco a Miluska y Renzo, quienes en todo momento compartieron su apoyo y conocimiento para sacar adelante esta tesis.

**Stefano Marinelli**

Dedicado a mis papás, quienes dieron su mayor esfuerzo y me apoyaron para poder culminar esta etapa. A mis familiares y todas aquellas personas que contribuyeron de manera directa o indirecta durante todo el proceso; y, finalmente, agradezco a Stefano y Renzo por su dedicación y compromiso en esta investigación.

**Miluska Medina**



## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1. Tema.....	3
2. Justificación.....	5
2.1. Social.....	5
2.2. Organizacional.....	6
2.3. Académico.....	6
3. Problema de Investigación.....	7
4. Preguntas de Investigación.....	11
4.1. Pregunta General.....	11
4.2. Preguntas Específicas.....	11
5. Objetivo General.....	12
5.1. Objetivos Específicos.....	12
6. Respuesta Tentativa .....	12
7. Viabilidad.....	14
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL.....	16
1. Industria 4.0.....	16
1.1. Evolución desde Industria 1.0 a Industria 4.0.....	16
1.2. Definición de Industria 4.0.....	17
1.3. Principios clave de diseño de entornos de la Industria 4.0.....	20
1.4. Beneficios y limitaciones .....	24
2. Factores clave de preparación para el proceso de implementación de la Industria 4.0.....	25
2.1. Estrategia organizacional .....	25
2.2. Nivel de digitalización de la organización .....	27
2.3. Grado de digitalización de la cadena de suministros.....	29
2.4. Adaptabilidad de los empleados con la Industria 4.0 .....	31

2.5.	Productos, servicios y fábrica inteligente.....	33
3.	Elementos para una estrategia de implementación de la Industria 4.0.....	34
3.1.	Roadmaps para la implementación de la Industria 4.0 .....	35
3.2.	Modelos de Preparación y Madurez para la Industria 4.0 .....	40
3.3.	Metodología de desarrollo del “Modelo de Preparación” de Lichtblau.....	48
3.4.	Descripción del “Modelo de Preparación” de Lichtblau.....	48
4.	Herramienta de apoyo a la toma de decisiones.....	57
CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL.....		61
1.	Adopción de la Industria 4.0 en el Perú.....	61
2.	Industria 4.0 en PyMES.....	65
3.	Contribución de la PyME en el desarrollo de la economía.....	68
3.1.	Importancia de la PyME a nivel global.....	69
3.2.	Importancia de la PyME en la industria manufacturera del Perú.....	69
4.	Sector Textil-Confecciones.....	72
4.1.	Características del Sector Textil-Confecciones peruano.....	72
4.2.	Industria 4.0 en el Sector Textil – Confecciones.....	82
5.	Presentación de las empresas caso de estudio .....	84
5.1.	Confecciones Polcyr S.R.L.....	84
5.2.	Textil del Valle S.A.....	88
5.3.	Análisis externo del sector Textil-Confecciones para los sujetos de estudio .....	95
CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO.....		97
1.	Alcance de la investigación.....	97
2.	Enfoque de la investigación .....	98
3.	Diseño de la investigación .....	98
4.	Marco muestral.....	101
5.	Recolección de Información.....	102
5.1.	Técnicas de recolección .....	103

6.	Metodología de Análisis de la Información .....	108
6.1.	Fase 1 del modelo metodológico.....	108
6.2.	Fase 2 del modelo metodológico.....	109
6.3.	Fase 3 del modelo metodológico.....	111
7.	Objetividad y calidad de la investigación .....	112
8.	Criterios éticos de la investigación .....	113
9.	Flujograma de trabajo.....	113
CAPÍTULO 5: HALLAZGOS Y PROPUESTA.....		115
1.	Validación de los Factores Clave de preparación para la implementación de la Industria 4.0.....	115
1.1.	Estrategia Organizacional.....	116
1.2.	Nivel de digitalización de la organización .....	118
1.3.	Grado de digitalización de la cadena de suministros.....	121
1.4.	Adaptabilidad de los Empleados .....	124
1.5.	Productos, Servicios y Fábrica Inteligente .....	126
1.6.	Liderazgo y Compromiso.....	128
2.	Nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. ....	130
2.1.	Resultados Confecciones Polcyr S.R.L.....	130
2.2.	Resultados Textil del Valle S.A.....	132
3.	Proyectos de implementación de Industria 4.0.....	138
3.1.	Proyectos implementados en la Gerencia de Operaciones de Manufactura .....	139
3.2.	Proyectos implementados en la Gerencia de Operaciones Textiles y Desarrollo de Producto .....	141
4.	Ruta, lineamientos estratégicos y panel de control para el proceso de implementación de la Industria 4.0.....	144
4.1.	Propuesta de roadmap para la implementación de la Industria 4.0 .....	144
4.2.	Propuesta de lineamientos estratégicos para el proceso de implementación de la Industria 4.0 en Polcyr S.R.L.....	145

4.3. Propuesta de panel de control para el monitoreo del proceso de implementación de la Industria 4.0 .....	154
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	156
1. Conclusiones .....	156
2. Recomendaciones .....	161
REFERENCIAS.....	162
ANEXO A: Limitaciones de la Industria 4.0 .....	178
ANEXO B: Beneficios de la Industria 4.0 .....	179
ANEXO C: Modelos de madurez para la Industria 4.0 .....	180
ANEXO D: Empresas formales según estrato empresarial.....	181
ANEXO E: MIPyMES formales según sector económico.....	182
ANEXO F: MIPyMES formales en el sector manufacturero, según división CIU 2017 .....	183
ANEXO G: Detalle de componentes en los que el Perú tiene mayor debilidad, según 4 pilares del Índice de Competitividad del World Economic Forum (WEF). Período 2015-2016.....	184
ANEXO H: Matriz de Consistencia Metodológica.....	185
ANEXO I: Protocolo para recolección de data del caso de estudio .....	195
ANEXO J: Guía de entrevista a expertos de Industria 4.0 (español) .....	197
ANEXO K: Guía de entrevista a expertos de Industria 4.0 (inglés) .....	200
ANEXO L: Guía de entrevista a expertos del sector Textil-Confecciones.....	203
ANEXO M: Guía de entrevista para benchmark de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones .....	205
ANEXO N: Guía de entrevista para proveedores de sujetos de estudio .....	207
ANEXO Ñ: Guía de entrevista a Gerencia de Confecciones Polcyr S.R.L. ....	209
ANEXO O: Guía de validación de nivel de preparación de Industria 4.0 .....	210
ANEXO P: Cuestionario de modelo de preparación de Lichtblau et al. (2015).....	212
ANEXO Q: Codificación y categorización de información cualitativa.....	221
ANEXO R: Criterios para medir nivel de preparación por dimensión.....	223
ANEXO S: Codificación y categorización de información cualitativa .....	228

ANEXO T: Sistematización y síntesis de hallazgos cualitativos y entrevistas .....	229
ANEXO U: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensiones .....	243
ANEXO V: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Estrategia y Organización .....	244
ANEXO W: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Fábrica Inteligente.....	245
ANEXO X: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Operaciones Inteligentes .....	246
ANEXO Y: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Productos Inteligentes.....	247
ANEXO Z: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Servicios Basados en Datos .....	248



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Pilares tecnológicos de la Industria 4.0 .....	19
Tabla 2: Modelos de Preparación para la Industria 4.0 .....	42
Tabla 3: Escala Fundamental para comparación por pares .....	58
Tabla 4: Ejemplo de cómo completar la matriz de comparación por pares .....	59
Tabla 5: Matriz normalizada del ejemplo presentado en la Tabla 4.....	59
Tabla 6: Valores del Índice Aleatorio (RI).....	60
Tabla 7: Factores que limitan la implementación de la Industria 4.0 en las PyME del Perú .....	67
Tabla 8: Evolución del Producto Bruto Interno (PBI) del Sector Textil – Confecciones.....	75
Tabla 9: Importación y exportación de maquinaria textil en el Perú.....	78
Tabla 10: Ranking de empresas exportadoras del sector Textil – Confecciones (2019).....	79
Tabla 11: Principales exportadores e importadores del sector Textil-Confecciones, 2018 .....	80
Tabla 12: Fortalezas y debilidades de Polcyr SRL.....	88
Tabla 13: Maquinaria de Textil del Valle SA.....	92
Tabla 14: Empleados de la Gerencia Central de Operaciones de Textil del Valle SA.....	94
Tabla 15: Fortalezas y debilidades de Textil del Valle SA .....	94
Tabla 16: Oportunidades y Amenazas para Polcyr SRL.....	95
Tabla 17: Oportunidades y Amenazas para Textil del Valle SA .....	96
Tabla 18: Entrevistados Expertos de Industria 4.0.....	104
Tabla 19: Entrevistado a Experto del sector Textil-Confecciones.....	104
Tabla 20: Entrevistas a trabajadores de Textil del Valle .....	105
Tabla 21: Entrevistas a proveedores de Textil del Valle .....	105
Tabla 22: Entrevistas a trabajadores de Confecciones Polcyr S.R.L.....	106
Tabla 23: Participantes evaluados con cuestionario del modelo de Lichtblau et al. (2015) ....	107
Tabla 24: Entrevista para evaluación de las dimensiones a través del método AHP .....	107
Tabla 25: Criterios de validez y fiabilidad de la investigación.....	112
Tabla 26: Nivel de preparación objetivo por Dimensión y Subdimensión .....	146

Tabla 27: Ponderaciones de Dimensiones y Subdimensiones.....	147
Tabla 28: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión Estrategia y Organización .....	148
Tabla 29: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión Fábrica Inteligente.....	149
Tabla 30: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Operaciones Inteligentes .....	151
Tabla 31: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Empleados.....	153



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Roadmap para la evaluación de madurez y realización de la Industria 4.0 .....	39
Figura 2: Dimensiones del modelo de preparación para la Industria 4.0 .....	49
Figura 3: Niveles de preparación del modelo para la Industria 4.0.....	52
Figura 4: Comparativo Perú vs Chile según el Global Competitiveness Index 4.0 .....	63
Figura 5: Puntaje Perú según el Network Readiness Index 2019 .....	64
Figura 6: Características de PyMES manufactureras .....	66
Figura 7: Evolución de las MIPYMEs formales, 2013-2017.....	70
Figura 8: Contribución (%) de la Industria Manufacturera al PBI, 2007-2018.....	70
Figura 9: Desempeño del Índice de Producción de la Industria Manufacturera.....	71
Figura 10: Participación de las MIPYME formales en el sector manufacturero, según división CIIU, 2017 (%).....	72
Figura 11: Cadena de valor de la producción del sector Textil – Confecciones.....	73
Figura 12: Variación porcentual interanual del Índice de volumen físico Textil – Confecciones .....	76
Figura 13: Promedio de variación porcentual anual del Índice de volumen físico Textil – Confecciones (Ab18-Mz19) (Ab19-Mz20).....	77
Figura 14: Textil – Confecciones Perú: % del valor agregado en la industrialización.....	78
Figura 15: Principales destinos de Exportación (agosto 2018 – julio 2019).....	80
Figura 16: Cadena de valor de la Fábrica de Aprendizaje Textil 4.0 .....	82
Figura 17: Mercado Global de Textiles Inteligentes en millones de dólares .....	83
Figura 18: Misión y visión de Polcyr SRL.....	85
Figura 19: Clientes de Polcyr SRL.....	85
Figura 20: Proceso de producción de Polcyr SRL .....	86
Figura 21: Maquinaria de Polcyr SRL.....	87
Figura 22: Capacidad de producción diaria de Polcyr SRL.....	87
Figura 23: Empleados del área de operaciones de Polcyr SRL.....	88

Figura 24: Misión y visión de Textil del Valle SA .....	89
Figura 25: Clientes de Textil del Valle SA .....	90
Figura 26: Estructura Organizacional de la Gerencia Central de Operaciones de Textil del Valle .....	90
Figura 27: Proceso de producción de Textil del Valle SA.....	91
Figura 28: Modelo metodológico de la investigación .....	100
Figura 29: Implementación empírica de la medición del nivel de preparación.....	110
Figura 30: Flujograma de trabajo.....	114
Figura 31: Síntesis de hallazgos de la investigación .....	115
Figura 32: Nivel de preparación Industria 4.0 - Confecciones Polcyr S.R.L.....	132
Figura 33: Nivel de preparación Industria 4.0 - Textil del Valle S.A.....	133
Figura 34: Proyectos de implementación de Industria 4.0 en Textil del Valle S.A. ....	139
Figura 35: Propuesta de Roadmap para el proceso de implementación de la Industria 4.0.....	144
Figura 36: Propuesta de panel de control para el monitoreo del proceso de implementación de la Industria 4.0.....	155

## GLOSARIO

**Análisis de datos:** el análisis de datos describe el proceso de analizar la información que se genera por diversas áreas, procesos y maquinarias dentro de una empresa con el objetivo de identificar interrelaciones útiles que optimicen sus actividades. Dados los enormes volúmenes de datos en las empresas hoy en día, los datos solo pueden generar un valor agregado si se pueden colocar en contexto y consolidar en categorías que permitan comprender la información holísticamente.

**Comunicaciones de máquina a máquina:** significa el intercambio automatizado de información entre sistemas técnicos o entre sistemas y una unidad central. Las aplicaciones típicas incluyen monitoreo y control remoto. Asimismo, vinculan la tecnología de la información y las comunicaciones conformando el Internet de las Cosas.

**Infraestructura de TI:** hace referencia al conjunto de componentes de tecnología de la información que conforman la base del servicio de TI. Pueden tratarse de componentes físicos, de software y de red.

**Interfaz de colaboración en línea o software colaborativo:** se refiere al conjunto de programas informáticos que integran datos sobre maquinarias y procesos; en donde diversos usuarios, que se encuentran en distintas estaciones de trabajo, se conectan por medio de una red de internet o de intranet.

**Sistemas Inteligentes de Transporte o ITS (*Intelligent Transportation Systems*):** se refiere al conjunto de sistemas tecnológicos y aplicaciones de informática desarrollados para mejorar la seguridad y eficiencia durante el transporte terrestre. De esta manera, facilitan la gestión, el control y el seguimiento.

**Software de *fitting* virtual:** software que permite diseñar prendas a través de rangos de tallas, gráficos, telas, adornos, combinaciones de colores, estilo y renderizado 3D fotorrealista. Gracias a sus funciones integrales, los diseñadores, especialistas técnicos y creadores de patrones pueden crear diseños y llevarlos al siguiente nivel con ajuste de movimiento real, modificación de patrones, nivelación, paquete tecnológico, entre otros.

**Mantenimiento predictivo:** los sistemas de mantenimiento predictivo están diseñados para detectar errores en las máquinas, como interrupciones o cortes antes de que ocurran. Su objetivo es prevenir errores mediante el mantenimiento y las reparaciones proactivas.

**Modelado digital:** un modelo digital se compone de datos relacionados con el producto complementados con datos de transacciones, datos de geoposicionamiento y otro tipo de datos.

**Requerimientos en tiempo real:** los requerimientos en tiempo real son un concepto central de la Industria 4.0 que brindan soporte a la toma de decisiones por medio del análisis de datos, el cual garantiza la disponibilidad de la información en el momento que es requerida.

**RFID:** la identificación por radiofrecuencia se puede utilizar para supervisar, controlar la calidad, adaptar automáticamente el proceso de producción y para identificar y compartir información sobre un artículo en sí y su entorno.

**Tecnología de la información y las comunicaciones (TIC):** la tecnología de la información y las comunicaciones se refiere a todos los dispositivos y sistemas técnicos que pueden digitalizar, procesar, almacenar y transmitir información de cualquier tipo.

**Tele mantenimiento:** el tele mantenimiento se refiere al mantenimiento remoto de la maquinaria controlado por computadora.



## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo identificar la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones, para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0, tomando en consideración las características de este nuevo paradigma industrial, los diversos principios y tecnologías que forman parte de ella, así como los elementos clave que permiten estructurar una estrategia vinculada al proceso de implementación. Además, se toma en consideración un conjunto de elementos que permiten caracterizar al sector Textil-Confecciones y las implicancias de la Industria 4.0 en él.

La aproximación de la investigación se realiza mediante el estudio de caso múltiple con dos empresas peruanas del sector Textil-Confecciones: Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.. Para ello, se inicia con una revisión crítica de la literatura con el fin de determinar los factores clave de preparación para este sector y exponer los modelos de preparación y madurez para la Industria 4.0, tomando en cuenta su relación con los requerimientos de las PyMES. Asimismo, se seleccionó el modelo de Lichtblau et al. (2015) con el propósito de determinar y explicar el nivel de preparación de ambas empresas; además, se describen las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil del Valle S.A., el cual resulta ser referente en avance tecnológico del sector; y, finalmente, se proponen lineamientos, objetivos e iniciativas estratégicas para Confecciones Polcyr S.R.L.

Como resultado de este estudio, se elabora un roadmap de implementación de Industria 4.0 que consta de tres etapas: evaluación, planeación e implementación. La primera enfocada en el desarrollo de un entendimiento común de la Industria 4.0 y la evaluación del nivel de preparación; la segunda en la identificación de brechas y oportunidades para la elaboración de una visión a futuro y el posterior diseño de campos de acción específicos; y, la tercera destinada a la aplicación y mantenimiento de los proyectos e iniciativas. Además, se diseña un panel de monitoreo del proceso de implementación de la Industria 4.0 para Polcyr S.R.L.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad el diseño de los lineamientos estratégicos que permiten guiar el proceso de implementación de la Industria 4.0 de Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones del Perú. En ese sentido, el presente estudio analiza a dos empresas del sector Textil-Confecciones con respecto a su nivel de avance y preparación para la implementación de iniciativas que forman parte de la Industria 4.0. Para ello, se toma en consideración a empresas de diverso tamaño y con características contrastantes con la finalidad de identificar las diversas restricciones y oportunidades que existen para implementar la tecnología que forma parte de la Industria 4.0.

En definitiva, el objetivo principal de la presente tesis es la identificación de la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L. para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0. Para ello, en el primer capítulo, se inicia a modelar la investigación por medio de la definición del tema, la justificación y/o relevancia del estudio, el problema de investigación, las preguntas y los objetivos que guiarán el desarrollo de la tesis; además, se plantea una respuesta tentativa ante las preguntas seleccionadas y se detalla la viabilidad de la investigación con respecto al tiempo, los recursos y la capacidad del equipo para poder ejecutarla.

Posteriormente, en el segundo capítulo, se desarrolla una revisión detallada de la literatura que permita definir el concepto de Industria 4.0; además, se incorporan los principios que permiten diseñar entornos de Industria 4.0 en las empresas. Siguiendo en el mismo capítulo, se realiza una definición de los cinco factores clave que una empresa debe desarrollar para estar preparada y pueda iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0. Más adelante, se revisan los elementos que permitan plantear una estrategia de implementación: los *roadmaps* y los modelos desarrollados para medir el nivel de madurez y/o preparación de una organización para la implementación de tecnología 4.0. De esta manera, se presenta el Modelo de Preparación de Lichtblau et al. (2015), el cual fue seleccionado para medir el nivel de preparación de los sujetos de estudio. Finalmente, en esa sección se presenta el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, en sus siglas en inglés) como herramienta que permitirá apoyar la toma de decisión con respecto a la priorización y ejecución de los lineamientos, objetivos e iniciativas estratégicas por dimensión evaluada del modelo.

Asimismo, en el tercer capítulo, se realiza una revisión contextual del nivel de adopción de Industria 4.0 en el Perú en general y en las PyMES en específico; a partir de ello, se expone la contribución de las PyMES en el desarrollo de la economía mundial y su impacto en la industria manufacturera a nivel país. Asimismo, se realiza una descripción actualizada de la composición y las características más importantes del sector Textil – Confecciones, es decir, se describe su

cadena de valor, la variación de los últimos años en la generación del PBI y volumen de producción; y, la participación del mercado de exportación e importación del sector. Finalmente, se presentan las dos empresas que formarán parte de la investigación haciendo foco en su estrategia, el desarrollo de su operativa y sus empleados. La primera empresa es Confecciones Polcyr S.R.L., mediana empresa que será parte de la ruta estratégica de implementación de la Industria 4.0 a ser diseñada; y, finalmente, se describe a Textil del Valle S.A., empresa referente del sector Textil-Confecciones que permitirá aterrizar el diseño de la estrategia por medio del análisis de su nivel de avance en el desarrollo de la Industria 4.0.

En el cuarto capítulo, se detalla el sustento metodológico de la investigación a través de la definición del alcance, el enfoque y el diseño de estudio de caso múltiple que se utilizará, junto al modelo metodológico que lo complementa, para dar respuesta a los objetivos de la investigación. De igual forma, se describe el proceso y las técnicas de recolección de información utilizadas en cada una de las etapas de la investigación, señalando las fuentes a las cuales fueron aplicadas estos instrumentos. Por otro lado, se explica la metodología de análisis que se optó para codificar, categorizar y profundizar sobre las variables de la investigación que permitieran obtener los resultados y hallazgos sobre cada sujeto de estudio. Asimismo, se señalan los criterios de objetividad y calidad que validan el proceso y la metodología de investigación desarrollada, así como los criterios éticos que los investigadores cumplieron. Finalmente, se presenta el flujograma dividido en cada etapa del trabajo de investigación.

En el quinto capítulo, se realiza una validación de los factores clave de preparación a través del análisis de la información obtenida por medio de expertos. Posteriormente, se describen y explican los resultados de los niveles alcanzados por ambos sujetos de estudio en el Modelo de Preparación de la Industria 4.0; para ello, el análisis busca identificar las oportunidades y restricciones que surgen en cada dimensión del modelo. Además, se describen los proyectos vinculados a la Industria 4.0 que han sido implementados por Textil del Valle S.A. con la intención de identificar los aspectos clave a ser considerados por parte de las empresas del sector Textil – Confecciones que buscan alcanzar su nivel de preparación. De esta manera, haciendo uso de toda la información recogida, se propone y explica el diseño de la ruta estratégica a seguir por parte de Confecciones Polcyr S.R.L. que le permita iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0.

Por último, como consecuencia del análisis mencionado, se desarrollan las conclusiones de la investigación, así como el detalle de las recomendaciones para los sujetos de investigación y para futuras investigaciones que permitan consolidar la propuesta estratégica diseñada.

# CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1. Tema

*Análisis de la implementación de la Industria 4.0 en las PyMES del sector Textil-Confecciones en el Perú.*

Los radicales cambios en el entorno empresarial, el enfoque en la personalización de los productos o servicios para satisfacer las necesidades de los clientes y el avance en la industrialización de las fábricas son las razones subyacentes por las cuales, en diferentes períodos, se ha buscado impulsar el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías en diversos procesos dentro de las empresas (Mohamed, 2018; Xu, Xu y Li, 2018).

Actualmente, nos encontramos en una etapa de rápido desarrollo de la Industria 4.0, donde los campos de la producción y la conectividad en la red se integran a través de la comunicación semántica de máquina a máquina, las tecnologías del Internet de las Cosas (IdC) y los sistemas ciber físicos, para que los procesos de producción física estén acompañados por procesos informáticos en el espacio virtual. Además, está surgiendo una nueva generación de sistemas industriales para hacer frente a la complejidad de la producción en este entorno ciber físico (Xu et al., 2018). Por este motivo, la Industria 4.0 requiere que las organizaciones tomen en cuenta ciertos factores clave de preparación que permitirán (re)diseñar y digitalizar sus cadenas horizontales y verticales en búsqueda de convertirse en líderes digitales dentro de los complejos ecosistemas industriales futuros (Schmidt, Härting, Möhring y Reichstein, 2015).

En síntesis, la Industria 4.0 tiene como enfoque digitalizar los activos físicos e integrarlos con los ecosistemas digitales conectados a la red; de esta manera, se desarrollan nuevos modelos de organización y gestión de toda la cadena de valor en las organizaciones, especialmente en la industria manufacturera (Koch, Kuge, Geissbauer y Schrauf, 2014). Por lo tanto, implementar esta nueva generación de tecnologías genera una serie de retos en diversas dimensiones dentro de las empresas, los cuales deben ser tomados en cuenta para reformular nuevas estrategias que permitan crear valor en los procesos de las organizaciones (Pereira y Romero, 2017; Wang, Wan, Li y Zhang, 2016).

Ahora bien, parte fundamental en la adopción de los diversos componentes tecnológicos que se han generado en la Industria 4.0 es la identificación de cuáles son las áreas, características, principios y/o dimensiones que permitirán a las organizaciones garantizar un desempeño competitivo y sostenible en el tiempo. Por este motivo, la preparación de las empresas ante estos cambios parte de reconocer los principios de diseño y la identificación de los factores críticos que

permiten asegurar una correcta implementación de la tecnología 4.0 en los procesos de las organizaciones (Bullen y Rockart, 1981; Hermann, Pentek y Otto, 2016; Rockart, 1979).

Cabe denotar que los actuales retos en las organizaciones requieren mayor flexibilidad, monitoreo y coordinación para reducir la complejidad que se ha generado en la relación entre los actores, elementos y la información en la cadena de valor de la empresa (Avilés-Sacoto et al., 2019). Por esta razón, la integración de herramientas tecnológicas 4.0 podría utilizarse como mecanismo para optimizar las actividades dentro de la cadena de valor, a través de una mayor visibilidad de los elementos y rapidez en la respuesta ante las necesidades de los clientes, lo que otorga eficiencia y calidad en el proceso (Witkowski, 2017). Las empresas que adopten estas herramientas tendrán un enfoque predictivo frente a la volatilidad del mercado, mejorando significativamente su planificación y desempeño en las operaciones por medio de una gestión efectiva de los niveles de producción. Por lo que, la entrega de servicios y productos al mercado estarían menos influenciados por las limitaciones comunes de la demanda impredecible y las interrupciones de la oferta (Haddud, DeSouza, Khare y Lee, 2017).

Siguiendo sobre este punto, las pequeñas y medianas empresas que requieran implementar estos cambios tecnológicos necesitan de herramientas y procedimientos que les permitan desarrollar individualmente sus propias fortalezas y experiencia para diseñar sus propios modelos de negocio vinculados a los cambios de la Industria 4.0. De esta manera, las PyMES tendrán la forma de reconocer la estrategia que les permitirá observar y/o analizar los objetivos y los beneficios específicos proporcionados por las soluciones tecnológicas 4.0, paralelamente a la identificación del potencial de la digitalización y la rearticulación entre los productos y la producción (Anderl y Fleischer, 2015). Por lo tanto, el reto para estas empresas radica en la labor de operacionalizar los conceptos que se vinculan a la Industria 4.0 a través de una estrategia formada por etapas de desarrollo viables que muestren beneficios tangibles para su propia empresa y que tengan la posibilidad de ser cuantificables en términos monetarios (Anderl y Fleischer, 2015; Schumacher, Nemeth y Sihm, 2019)

En el Perú, las Pequeñas y Medianas empresas (PyMES) tienen un papel crucial en el desarrollo económico, social y ambiental del sector empresarial. La estrategia de competitividad que utilizan aún no se vincula con los avances en la tecnología 4.0, lo que genera poca adaptación a las exigencias del entorno, dificultades de administrar eficientemente sus recursos; y, por, sobre todo, no tienen un direccionamiento claro para la planeación y/o proyección a mediano y largo plazo en sus industrias. Por lo tanto, la identificación y selección de cuáles son los factores clave que deben desarrollar resulta decisivo para estructurar estrategias organizacionales que integren la tecnología como mecanismo para la generación de valor (Pereira, 2019).

En el contexto de la industria textil, a lo largo del tiempo, se ha buscado automatizar los sistemas de producción con el objetivo de aumentar eficiencia y calidad en los productos. No obstante, queda claro que la optimización de estos sistemas debe ser fortalecidos a través de un cambio en la estructura holística de la propia cadena de valor articulando la tecnología como una plataforma de conexión y comunicación entre todos los sistemas ciber físicos que la componen (Kemper, Gloy y Gries, 2016; Saggiomo et al., 2015).

Esta nueva visión de las empresas textiles está ocurriendo en los países modernos como Alemania; pero, en los países en desarrollo tales empresas se han mantenido a un nivel de parque industrial tradicional. Por este motivo, la evaluación del potencial tecnológico resulta ser un camino evidente para superar la brecha de innovación que caracteriza a las pequeñas y medianas empresas textiles en el Perú (Sato, Sanches y Dedini, 2018).

## **2. Justificación**

### **2.1. Social**

La importancia social de la presente investigación radica en tres puntos importantes: la conservación de empleo, el desarrollo económico y la sostenibilidad. En cuanto al primer y segundo punto César Tello, presidente del Comité de Confecciones de la Asociación de Exportadores, señala que el sector Textil-Confecciones genera cuatrocientos mil empleos directos y trescientos mil indirectos en el país, representando el 1.9% del PBI y el 10% de la manufactura peruana (Asociación de Exportadores ADEX, 2018). Dado que la correcta adecuación de las organizaciones de este sector a tendencias mundiales como la Industria 4.0 garantizará su competitividad e inserción a cadenas de valor globales (Mogos, Eleftheriadis y Myklebust, 2019), la investigación contribuye a la productividad futura del sector y del país, al sostenimiento de las utilidades empresariales, a la generación de empleo directo e indirecto y en general al bienestar económico de la sociedad.

En cuanto al tercer punto, la Industria 4.0 representa una ola de innovación en fabricación avanzada que reestructurará la economía global y que responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas - Agenda 2030. Esto se logra a través del desarrollo de sistemas de producción más sostenibles que reducen la huella de carbono en la transformación de productos, el desarrollo de servicios y contribuyendo paralelamente al desarrollo de las economías regionales al aumentar la competitividad del sector (Leuren y Abbosh, 2019). Con el objetivo de promover en las organizaciones del país un primer acercamiento hacia la Industria 4.0, esta investigación contribuye a la sostenibilidad futura del sector textil, así como a las demás industrias que están vinculadas a su cadena de valor.

## **2.2. Organizacional**

La introducción de la Industria 4.0 ha demostrado ser exitosa al proporcionar distintos beneficios que incluyen la optimización operativa y la optimización de la cadena de valor de las empresas. Esto tiene importantes resultados no solo referidos a la competitividad en el corto plazo, sino en la sostenibilidad a futuro (Bag, Telukdarie, Pretorius y Gupta, 2018). En el contexto de la competencia actual, es necesario advertir sobre el uso de herramientas tecnológicas ante la necesidad de respuestas rápidas en el proceso de toma de decisiones y el uso de recursos sociales y medioambientales apropiados para el desarrollo de nuevos productos. En este sentido, dada la complejidad del sector Textil - Confecciones, implica un reto importante estar alineado con estas innovaciones que impactan en la producción, los modelos de negocio, los hábitos de consumo y en los aspectos sociales (Sato et al., 2018).

En cuanto al sector Textil - Confecciones peruano, Tello resalta la importancia de considerar la competencia global y la necesidad de mejorar factores como la productividad, reducir los costos de producción y garantizar la materia prima (ADEX, 2018). Es evidente que hay un camino extenso por recorrer para alcanzar los niveles de competitividad de las empresas globales y, sin duda alguna, la inclusión de la tecnología es una necesidad imperativa para empezar la transformación de los procesos actuales. De esta forma, este estudio brindará un análisis profundo de los factores críticos que impiden y promueven la inserción a la Industria 4.0 por parte de las organizaciones, con el objetivo de que logren trazar una línea base y comprender cuales áreas requieren mayor foco para adoptar los beneficios de esta nueva industria.

## **2.3. Académico**

Basados en la revisión de la literatura, diversos autores afirman que el número de investigaciones académicas centradas en la aplicación de Industria 4.0 dentro de grandes empresas es mayor en comparación a las realizadas sobre la adopción en micro, pequeñas y medianas empresas (Huang, Talla Chicoma y Huang, 2019; Müller, 2019; Müller, Buliga y Voigt, 2018; Radziwon, Bilberg, Bogers y Madsen, 2014). Sin embargo, se considera relevante la necesidad de que existan investigaciones vinculadas a la implementación de la Industria 4.0 en este segundo grupo de empresas; dado que, en muchos casos, son las micro, pequeñas y medianas empresas las que desempeñan el papel de proveedores de las grandes empresas y además son pieza clave en la cadena de valor de diversos sectores (Müller et al., 2018). La presente investigación busca generar un aporte académico que permita realizar, a través de diversos autores, un acercamiento crítico sobre cómo las empresas medianas del sector Textil-Confecciones pueden desarrollar una estrategia de implementación de la tecnología que forma parte de la Industria 4.0.

Asimismo, después de un detallado análisis bibliográfico en las bases de datos que ofrece la Pontificia Universidad Católica del Perú para la búsqueda de artículos académicos, solo se ha encontrado una investigación referente a la aplicación de Industria 4.0 dentro de las micro, pequeñas y medianas empresas en el Perú. Por este motivo, esta investigación resulta ser un aporte esencial para el desarrollo de futuras investigaciones vinculadas a la Industria 4.0 que tengan como sujetos de estudio a PyMES dentro del Perú. Finalmente, cabe resaltar que el fin de esta investigación es comprender y fortalecer el conocimiento sobre la implementación de ciertos elementos que componen la Industria 4.0 en este tipo de organizaciones a través de la identificación de las restricciones y oportunidades que se presentan en este proceso, lo que resulta relevante para las Ciencias de la Gestión.

### **3. Problema de Investigación**

Restricciones y oportunidades en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.

La Industria 4.0 trae consigo un número creciente de tecnologías innovadoras, las cuales producen nuevos paradigmas para la gestión industrial de las pequeñas y medianas empresas (Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo y Barbaray, 2018). La integración de la inteligencia en la producción, logística, redes y los productos; el uso del Internet de las Cosas, los prototipos virtuales, la realidad aumentada, así como la gestión de grandes cantidades de datos e información, proporcionan una nueva fuente de creación de valor y de modelos de negocio, especialmente para las empresas manufactureras e industriales (Mohamed, 2018).

El desarrollo de la Industria 4.0 demandará empresas manufactureras que sepan adaptarse a las tendencias tecnológicas emergentes a fin de ser competitivas en el nuevo entorno empresarial. Algunos elementos que lideran este cambio incluyen la necesidad de contar con un proceso altamente flexible de producción, almacenamiento, rastreo, distribución y monitoreo de productos; la coordinación en tiempo real de los flujos de material; la gestión precisa del riesgo; la optimización de la planificación de suministros y el pronóstico de la demanda. Todo esto bajo los pilares que sustentan el desarrollo de la Industria 4.0, tales como el análisis de *Big Data*, el Internet de las Cosas, los robots autónomos, la simulación, la integración de sistemas horizontales y verticales, el Internet Industrial de las Cosas, la seguridad cibernética, los sistemas ciber físicos, el *Cloud Computing*, la fabricación aditiva y la realidad aumentada (Avilés-Sacoto et al., 2019).

Xu et al. (2018) toman este concepto como parte central de su trabajo y a través de una revisión sistemática de literatura, concluyen que la tecnología 4.0 actuará como facilitadora para que los ecosistemas industriales sean más efectivos y competitivos, pero que se requieren esfuerzos para combinar las capacidades organizacionales con las tecnologías emergentes.

Asimismo, Broomé y Renström (2018), por medio de un estudio cualitativo con trece entrevistas a profesionales y expertos concluyen que los mayores desafíos para implementar los cambios de la Industria 4.0 son la gran cantidad de inversión, la gestión del cambio, las amenazas cibernéticas; y, la necesidad de competencias de TI, estadísticas y mayor capacidad analítica por parte de los trabajadores; por lo que, las empresas se encuentran en una etapa de reconocimiento de una necesidad de cambio para continuar siendo competitivas, pero por otro lado una ausencia de los elementos centrales para lograrlo.

Como se mencionó, la Industria 4.0 no solo está vinculada a las grandes empresas, sino que también puede tener un impacto dentro de las pequeñas y medianas empresas; no obstante, se resalta la brecha existente entre el nivel de preparación de ambos tipos de empresas. El estudio realizado por Singh (2019), donde se determina cómo cinco indicadores de rendimiento: flexibilidad, costos, productividad, calidad y plazos de entrega, pueden optimizarse si una PyME implementa las tecnologías de la Industria 4.0. Además, en el estudio de caso múltiple realizado por Villa (2018) se estudia cómo diferentes habilitadores de innovación, que conducen a la Industria 4.0, tienen distintos efectos en compañías de diferentes tamaños y donde se determina que el factor diferenciador entre ambas resulta ser la preparación organizacional para adoptar la tecnología 4.0. Ambos nos permiten dar cuenta de que el punto de inflexión para que las PyMES obtengan los beneficios de la Cuarta Revolución Industrial se encuentra en analizar su nivel de preparación e identificar aquella estrategia que permita implementar la tecnología progresivamente dentro de la empresa.

Sin embargo, a pesar del creciente interés por la adopción de tecnologías digitales por parte de las organizaciones, solo unas pocas PyMES a nivel mundial dentro del sector manufacturero han podido realizar el cambio de industria de manera exitosa (Nwaiwu, Duduci, Chromjakova y Otekhile, 2020). Esto también puede corroborarse por tres investigaciones que permiten reconocer la ausencia de modelos que, a través de diversas dimensiones y etapas, puedan por sí mismos medir el nivel de preparación y/o madurez de las PyMES en la Industria 4.0 (Amaral, Jorge y Peças, 2019; Liborio, Berrah y Tabourot, 2020; Mittal, Khan, Romero y Wuest, 2018). Por consiguiente, resulta necesario profundizar sobre los resultados de estos modelos y vincularlos a objetivos estratégicos, operacionales y/o tácticos para que tenga sentido iniciar un proceso de transformación que involucre el uso de las tecnologías de la Industria 4.0 o la adaptación a los principios clave bajo los cuales se rige.

Ahora bien, en el Perú solo existe una investigación, realizada por Huang et al. (2019), que da un acercamiento sobre los factores que afectan la implementación de la tecnología 4.0 en las micro, pequeñas y medianas empresas en el Perú. Su metodología de investigación se enfocó

en un estudio de caso múltiple para identificar los criterios que influyen en la implementación de la Industria 4.0 en las MIPyMES peruanas, donde se siguieron dos objetivos a lo largo de la investigación: (1) evaluar el enfoque actual de las MIPyMES peruanas hacia la Industria 4.0 y (2) ilustrar el escenario de criterios y factores que afectan esta implementación. De esta manera, los autores concluyeron que los criterios que influyen en mayor medida son la propia organización y el soporte del estado; y en menor medida, la innovación en la industria y la competencia en la industria. Por otro lado, los factores limitadores resultaron ser: falta de tecnología avanzada, falta de inversión financiera, mala visión de la gestión y ausencia de trabajadores calificados (Huang et al., 2019).

Es claro entonces, que las PyMES deben reconocer las características y los cambios que conllevará adaptarse a la Industria 4.0; y, en segundo lugar, definir y desarrollar los factores críticos que les permitirá fortalecer su preparación para la adopción de la tecnología 4.0, no solo como mecanismo de seguimiento a la corriente global, sino como herramienta de optimización de sus estrategias y procesos, a pesar de que presentan muchas limitaciones para su implementación (Huang et al., 2019). No obstante, también se denota la necesidad de aplicar el modelo de preparación y/o madurez que mejor se ajuste a las necesidades de la propia empresa, profundizando sobre las dimensiones evaluadas, para identificar los lineamientos y campos de acción que les permitirían incrementar su nivel de madurez y, además, facilitar el alcance de los objetivos de la organización.

En el Perú, el 99.5% de las empresas pertenecen a la clasificación de micro, pequeña y mediana empresa, de las cuales el 8.3% pertenecen al sector manufactura. Asimismo, dentro del sector manufacturero la fabricación de prendas de vestir y la fabricación de productos textiles representan el 16.3% y 8.6% de la actividad manufacturera total (Ministerio de la Producción, 2018). Se puede observar la evolución de las micro, pequeñas y medianas empresas del sector textil dentro del marco de la Industria 4.0 es de gran importancia para el desarrollo social y económico del país. Sin embargo, en el Perú este tipo de empresas se caracterizan por tener difícil acceso al uso de la tecnología y a la gestión de bases de datos; así como por presentar productos de baja intensidad tecnológica, lo que dificulta su inserción a cadenas de producción internacionales (Gutarra Romero y Valente Mercado, 2018).

El presente trabajo de investigación tiene como sujeto de estudio a Confecciones Polcyr S.R.L. (en adelante Polcyr) y Textil del Valle S.A. Polcyr es una mediana empresa del sector Textil-Confecciones, esta organización posee características semejantes a la mayoría de las medianas empresas de este sector en el Perú y presenta las limitaciones descritas anteriormente, lo que conlleva un espacio de oportunidad para iniciar este proceso de implementación de la

Industria 4.0 con el fin de alcanzar de manera más efectiva sus objetivos. A diferencia de las exigencias del sector a nivel global y el nivel de preparación de las empresas líderes del sector a nivel local, Polcyr cuenta con falencias organizacionales propias de una mediana empresa del rubro: no cuenta con un alto poder de negociación con proveedores y clientes, no cuenta con un sistema de información que le permite tomar decisiones con rapidez, su capacidad de respuesta ante algún cambio en su cadena productiva es limitada y sus trabajadores muchas veces no cuentan con las capacidades requeridas para sus puestos.

Parte de los objetivos de los gerentes, también dueños de la empresa se encuentran: (1) optimizar el funcionamiento de su cadena de suministros a través de un mayor nivel de control y monitoreo que le permita identificar los puntos críticos de mejora y, (2) incrementar el uso de tecnología y/o sistemas que le permitan mejorar la eficiencia de los procesos clave dentro de la empresa y agilizar la toma de decisiones. Es claro que para ambos fines es necesario que la organización empiece un proceso de transformación que la oriente a ser más competitiva, facilitar el control de sus procesos e incrementar la eficacia en la comunicación con sus proveedores y clientes con el fin de optimizar sus resultados.

Por otro lado, Textil Del Valle S.A. es una empresa que ha cumplido dichos objetivos a partir de un proceso de cambio que le garantizó convertirse en una de las principales organizaciones productoras de textil y confecciones del Perú, con un enfoque de sostenibilidad y presencia en la producción de marcas de moda internacionales. Además, a través del uso de tecnología y diversos sistemas de TI, han podido implementar un sistema de monitoreo interno que le permite comprender el funcionamiento de su maquinaria en diversas áreas y cómo sus productos se comportan a lo largo de la cadena de producción. Por este motivo, se considera relevante que una organización como Polcyr, cuente con una guía estructurada que le permita establecer líneas de acción iniciales con el fin de empezar su camino hacia la transformación como lo hizo Textil del Valle S.A. y el futuro logro de sus objetivos a mediano plazo.

A partir de lo mencionado, el fin de la presente investigación es identificar las restricciones y oportunidades en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones peruano. A partir de ello, se propondrán los lineamientos estratégicos clave a seguir por Polcyr para desarrollar este proceso con éxito. Para ello, en primer lugar, se define a la Industria 4.0, las tecnologías que forman parte de ella, los principios clave bajo los cuales se rige el funcionamiento de esta Industria y se describen cuáles son los factores críticos de preparación que influyen en el proceso de implementación a la Industria 4.0; en segundo lugar, se presentan los diversos *roadmaps* y modelos que permiten evaluar el nivel de preparación de una empresa para la

Industria 4.0 y de esta manera, se seleccionará el modelo más idóneo bajo diversos criterios de comparación.

Una vez identificado cómo se estructura un *roadmap* y el modelo a ser utilizado, se realizará una descripción general de la empresa y determinará el nivel de preparación actual de Polcyr para la implementación de esta industria. Cabe destacar que, en línea con lo mencionado anteriormente, se incluirá a Textil del Valle S.A. con el objetivo de establecer un horizonte claro de cuál es la ruta por seguir para la PyME; por lo que, también se aplicará el modelo para medir su nivel de preparación. Además, se profundizará sobre las características de esta empresa y el proceso de cambio que ha tenido en los últimos años, para conocer cómo ha logrado implementar ciertas tecnologías que forman parte de la Industria 4.0 y los beneficios que conlleva. Finalmente, se realizará un análisis de las restricciones u oportunidades de cada dimensión evaluada por la empresa para que, a partir de los resultados y por medio de un proceso de priorización, se pueda proponer el *roadmap* idóneo que la empresa debería de tomar para alcanzar el nivel de preparación deseado.

#### **4. Preguntas de Investigación**

##### **4.1. Pregunta General**

- ¿Cómo debería ser la estrategia de Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones, para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0?

##### **4.2. Preguntas Específicas**

- ¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?
- ¿Cuáles son los modelos de preparación y madurez de empresas para la Industria 4.0 y su relación con los requerimientos de las PyMES?
- ¿Cuál es el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0?
- ¿Cuáles son las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil del Valle S.A., referente del sector?
- ¿Cuál es el *roadmap* idóneo para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0 por parte de Confecciones Polcyr S.R.L.?

## 5. Objetivo General

- Identificar la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones, para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0.

### 5.1. Objetivos Específicos

- Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.
- Exponer los modelos de preparación y madurez de empresas para la Industria 4.0 y su relación con los requerimientos de las PyMES.
- Determinar y explicar el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0.
- Describir las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil del Valle S.A., referente del sector.
- Proponer el *roadmap* idóneo para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0 por parte de Confecciones Polcyr S.R.L.

## 6. Respuesta Tentativa

Para aprovechar el creciente número de recursos tecnológicos de la Industria 4.0 que se están generando a nivel global y que representan espacios de oportunidad para las PyMES del sector textil en el Perú es necesario interrelacionar y plantear una secuencia de acciones que permitan estructurar el proceso de implementación de la tecnología que forma parte de ella. Además, se requiere desarrollar ciertas áreas clave que permitan reconfigurar sus recursos para alcanzar los objetivos que plantea la Industria 4.0, de esta manera podrán mantener la ventaja competitiva en su sector.

En primer lugar, se debe evaluar el nivel de preparación digital como insumo para establecer una línea base para el planteamiento de objetivos a mediano y largo plazo que tengan relación con la estrategia organizacional de la empresa. Este primer diagnóstico debe estar acompañado y liderado por los tomadores de decisiones dentro de las PyMES para que puedan tener alineación con la visión de la empresa. Además, la evaluación por parte de algún modelo de preparación existente permitirá identificar aquellas dimensiones o áreas en las cuáles existen mayores oportunidades de mejora para poder diseñar estrategias y acciones que faciliten la implementación de soluciones digitales de la Industria 4.0.

Se debe tomar en cuenta que las PyMES, especialmente las del sector Textil-Confecciones, no tienen la capacidad de adquirir maquinaria rápidamente para alcanzar niveles de producción masiva que les permitan obtener eficiencia en sus procesos; por lo que, el enfoque de digitalización por etapas que propone la Industria 4.0 facilitaría la identificación, a través de la información, de cuáles son los procesos que pueden ser rediseñados con el uso de la tecnología y que pueden ser puestos a prueba en diversos escenarios para comprender el valor que generaría en el negocio. A partir de estas pruebas, se deben plantear cómo modificar, transformar o reestructurar las capacidades de gestión necesarias para alcanzar la visión planteada anteriormente. Cabe destacar que, como parte del planteamiento estratégico, es necesario seleccionar claramente el nivel de madurez esperado ante el rediseño de los procesos o la optimización del uso de la maquinaria por medio de nueva tecnología; por este motivo, la comparación con un referente del sector en materia de avance tecnológico resulta vital porque permite identificar buenas prácticas que pueden ser replicadas y adaptadas al contexto en el que se encuentran las PyMES.

Se debe comprender que la hoja de ruta que permitirá implementar esta nueva tecnología no debe partir de la inversión y adquisición de todos los recursos de la Industria 4.0, porque posiblemente no se cuente con los recursos financieros para desplegar este cambio en el corto plazo o mediano plazo. Por este motivo, se deben enfocar en aquellos procesos o maquinaria clave donde se puede implementar tecnología que vaya de la mano con las capacidades y el conocimiento que se tiene para que las estrategias de implementación puedan tener éxito en la organización. Cabe destacar que, una vez implementada alguna tecnología 4.0, la compañía no debe perder el ritmo de reinversión para no perder el liderazgo ante las demás empresas y el contexto cambiante, para ello es necesario continuar evaluando los avances y el desarrollo del entorno ante el surgimiento de una mejor alternativa tecnológica que puede ser implementada.

Finalmente, también se reconoce la necesidad de integrar a los distintos actores, elementos y flujos de información en la cadena de suministros dentro de la estrategia, con el objetivo inicial de mejorar la trazabilidad de recursos y productos, lo que les permitirá optimizar la toma de decisiones internas y externas. Esto será posible cuando se diseñen estrategias de integración con el mapa de los diversos stakeholders de la organización para compartir datos, tecnología y objetivos en común; ya que, de esta forma, los procesos internos comenzarán a conectarse con las actividades de los clientes y proveedores, lo que permitirá actuar de manera más predictiva ante los cambios en el comportamiento de la demanda y se contará con una cadena de suministros que logre adaptarse a las necesidades del mercado.

Los avances tecnológicos de la Industria 4.0 implican una gama de beneficios que se están incorporando dentro de los procesos como una respuesta a las nuevas necesidades del entorno. Sin embargo, en el Perú, esta transformación aún no ha desarrollado su potencial, el sector Textil-Confecciones tiene una brecha tecnológica importante en comparación a la competencia. En específico, las PyMES del sector tienen un nivel escaso o nulo de implementación de este tipo de innovación. Dado este nivel de desarrollo tecnológico actual en el que se encuentran las PyMES del sector textil en el Perú y sus limitaciones, los objetivos de desempeño que podrían verse optimizados están relacionados al (1) incremento de la flexibilidad, entendido como el nivel de respuesta a las fluctuaciones del mercado; (2) la reducción de costos, a través de la sincronización de flujos; (3) la mejora de la productividad, utilizando la simulación de diversos escenarios; (4) la mejora de la calidad, haciendo uso de la información; y (5) la reducción del tiempo de entrega, a través de la digitalización de las órdenes de compra.

## **7. Viabilidad**

En relación con el acceso a la literatura teórico-metodológica y al estado del arte, la presente investigación se considera viable dado que se dispone de un período de tiempo adecuado para realizar una extensiva búsqueda de información secundaria especializada a través de las diferentes bases de datos y recursos académicos sobre los conceptos de Industria 4.0, factores críticos de preparación para la Industria 4.0, modelos de preparación o madurez existentes a nivel académico y/o práctico para seleccionar aquel que resulte idóneo para la medición de la preparación de una PyME vinculada a esta industria; y, *roadmaps* que permiten diseñar proyectos específicos de implementación de la Industria 4.0 dentro de las organizaciones. Además, se recurrirá a la información y/o análisis de casos que hayan integrado estos conceptos para evaluar las diferentes aplicaciones de la Industria 4.0 en el sector objeto de investigación.

La presente investigación es viable ya que el grupo de investigadores tiene acceso a los sujetos de estudio, que en este caso son la empresa Confecciones Polcyr S.R.L y Textil del Valle S.A.; es decir, a información primaria de los actores, actividades y elementos de la organización. Además, se cuenta con la disponibilidad por parte de las fuentes de información requeridas para la aplicación de los instrumentos de investigación propuestos en el marco metodológico; por lo cual, se podrá identificar y analizar cuáles son los principios fundamentales que caracterizan a la Industria 4.0 y los factores clave para que puedan adaptarse a estos cambios. Además, a través de un cuestionario online se podrá medir el nivel de preparación de la Industria 4.0; y, tomando en cuenta toda la información disponible, se podrá reconocer los elementos de una estrategia de implementación tomando en cuenta su contexto. Del mismo modo, se destaca la disponibilidad de acceso a la información de las áreas clave relacionadas a la manufactura y operaciones de la empresa Textil del Valle S.A., empresa referente del sector Textil en el país. La empresa está

dispuesta a brindar los medios para poder conocer el proceso de implementación que ha llevado a cabo utilizando ciertas tecnologías de la Industria 4.0 y validar la estrategia a ser diseñada para Confecciones Polcyr S.R.L.

Por otro lado, se deberá realizar una búsqueda de expertos en Industria 4.0 a nivel local y extranjero para generar información primaria actualizada sobre la aplicabilidad de esta tecnología en el contexto peruano. Además, como parte de la búsqueda de expertos, el grupo investigador ha creado una base de datos con los autores de artículos vinculados a la Industria 4.0 en revistas académicas para ser contactados a través del correo electrónico y programar entrevistas con ellos; de esta forma, se logró contactar con diversos especialistas del tema a nivel internacional, lo que permitió fortalecer y contrastar lo planteado en el marco teórico y sentar las bases de nuestros lineamientos estratégicos.

Cabe resaltar que la fase de trabajo de campo se vio limitada por la pandemia y propagación ocasionada por el coronavirus SARS-CoV-2 (conocido como Covid-19) a nivel mundial y local. Por este motivo, no se pudieron visitar las instalaciones de los sujetos de estudio para realizar las observaciones necesarias que nos permitieran fortalecer o contrastar la información obtenida por parte de la gerencia y los trabajadores; además, ciertos participantes que debían formar parte de la investigación no pudieron brindar su disponibilidad debido a las consecuencias económicas y en materia de salud que el virus les ocasionó. Por otro lado, las herramientas de investigación utilizadas tuvieron que adaptarse a la coyuntura del Perú, siendo necesario realizarlas a través de un medio en línea como videollamadas en herramientas como Microsoft Teams, Zoom, Google Meet y Skype; así como cuestionarios online.

## CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

El marco teórico de la presente investigación servirá como guía para introducir las apreciaciones de los principales autores académicos con respecto a los conceptos que permitirán comprender: en primer lugar, el surgimiento de la Industria 4.0, cuáles son los pilares tecnológicos que lo componen, los principios bajo los cuales se rige, y los factores clave que se deben desarrollar para facilitar la implementación de las tecnologías de esta industria; y, en segundo lugar, se discutirá sobre los diversos *roadmaps* que permiten diseñar estrategias de implementación y los modelos que se han desarrollado para la medición del nivel de preparación o madurez de las empresas en la adopción de la tecnología 4.0 dentro de su estrategia, procesos y colaboradores, ahondado en las dimensiones que los conforman y buscando relacionarlo a las características de las PyMES. Finalmente, se describirá el método que permitirá facilitar el proceso de priorización y toma de decisión sobre cuáles son los lineamientos clave que deben diseñarse como parte de la ruta estratégica.

### 1. Industria 4.0

En los últimos años, el creciente avance en la creación de nueva tecnología, la transformación de las cadenas de valor y la integración entre diversos sistemas en las empresas han permitido el surgimiento de un nuevo concepto llamado “Industria 4.0”, debatido e investigado por académicos, consultores y empresas, con el objetivo de poder consensuar cuál será el paradigma que guiará a las organizaciones en la generación de valor para las diferentes y volátiles necesidades de los clientes (Mohamed, 2018; Pereira y Romero, 2017; Xu et al., 2018).

#### 1.1. Evolución desde Industria 1.0 a Industria 4.0

Los cambios sociales, económicos y tecnológicos son las causas de todas las revoluciones industriales. Por este motivo, para comprender cómo progresivamente la industria ha ido evolucionando en sus sistemas de producción, en la integración de la tecnología y en el uso de la información en todos los procesos de la cadena de valor de las empresas debemos tener en cuenta la evolución desde la Industria 1.0 a la Industria 4.0, tomando en consideración los factores clave que produjeron esos cambios y que permiten, hoy en día, la inserción de nueva tecnología en las empresas (Nikolic, Ignjatic, Suzic, Stevanov y Rikalovic, 2017; Xu et al., 2018).

La Primera Revolución Industrial, que ocurrió a finales del siglo XVIII, fue impulsada por la mecanización productiva a través de la creación de las máquinas de vapor y la energía del agua. Durante la Segunda Revolución Industrial, el factor clave de desarrollo fueron las líneas de montaje y la producción masiva con el uso de la energía eléctrica. Durante la Tercera Revolución Industrial, que inició a mediados del siglo XX, el uso de la computadora y la micro tecnología electrónica y de información fomentaron la automatización de los procesos de producción

(Ghobakhloo, 2018; Nunes, Pereira y Alves, 2017). Estos avances se encontraban vinculados a la incorporación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) y a tecnologías como la adopción del control numérico por computadora (CNC) y los robots industriales, para permitir que los sistemas de producción sean más flexibles y puedan adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda de los productos (Xu et al., 2018).

A partir de ello, surge el concepto de Industria 4.0 como parte de la denominada “Cuarta Revolución Industrial”, término referido inicialmente al “Industrie 4.0” el 2011 en la Feria de Hannover en Alemania y oficialmente anunciado el 2013 como una estrategia de alta tecnología sumamente ambiciosa, que simultáneamente busca alcanzar objetivos en el plano de la optimización de la productividad, la mejora de la calidad, la personalización del servicio al cliente y una mayor seguridad en las empresas; a partir de ello, otros países industriales importantes también propusieron estrategias similares como por ejemplo, “Industrial Internet” en Estados Unidos e “Internet Plus” en China (Gilchrist, 2016; Nunes et al., 2017; Qin, Liu y Grosvenor, 2016; Wang et al., 2016; Xu et al., 2018).

En esta nueva era, las TICs forman la base de la infraestructura para que tecnologías como los sistemas embebidos, el Internet de las Cosas, los sistemas ciber-físicos, y la computación en la nube tengan un rol clave para la transformación de la industria. Si bien la Tercera Revolución Industrial se enfocó en la automatización de las máquinas y los procesos (Tan et al., 2010), la Industria 4.0 tiene un mayor enfoque en la digitalización de extremo a extremo y la integración de ecosistemas industriales digitales a través de la búsqueda de soluciones integradas dentro de la cadena de valor de las empresas (Hermann et al., 2016; Lasi, Kemper, Feltke, Feld y Hoffmann, 2014; Moeuf et al., 2018). Cabe destacar que la visión de la Industria 4.0 no se encuentra limitada únicamente a la automatización de procesos independientes, sino a la incorporación de la integración vertical y horizontal de todas las funciones clave, desde la fabricación, adquisición y almacenamiento, hasta la venta del producto final que permite desarrollar productos rápidamente, personalizarlos y gestionar eficientemente los entornos de producción y logística de las empresas (Hoerl, Snee y De Veaux, 2014; Nikolic et al., 2017).

## **1.2. Definición de Industria 4.0**

Para comprender con precisión la Industria 4.0, se deben tomar en cuenta diversas definiciones para desarrollar una descripción general; no obstante, cabe resaltar que la mayoría de los expertos en la Academia mencionan que el término en sí mismo es poco claro y existen dificultades para comprender este fenómeno, pero a través de una sistematización de diferentes autores se podrá comprender la lógica general del concepto (Erro-Garcés, 2019; Ghobakhloo, 2018; Hofmann y Rüsçh, 2017).

Por un lado, la Industria 4.0 puede entenderse como un nuevo nivel de organización y control sobre toda la cadena de valor del ciclo de vida de los productos, lo que resulta en una etapa de desarrollo adicional en la organización y gestión de los procesos, teniendo en consideración los requisitos individualizados de los clientes en la industria manufacturera (Koch et al., 2014). Por otra parte, también debe ser vista como una digitalización del sector de fabricación, es decir, fábricas inteligentes estructuradas modularmente con sensores integrados en todos los componentes del producto y equipos de fabricación, lo que permite a los sistemas ciber físicos monitorear los procesos físicos, crear una copia virtual de estos y tomar decisiones descentralizadas con base en el análisis de todos los datos relevantes. Por lo tanto, a través de diversas plataformas como el Internet de las Cosas, los sistemas ciber físicos se comunican y cooperan entre sí y también con los humanos en tiempo real, lo que conlleva a que los procesos internos y externos de la organización sean comprendidos y utilizados por todos los participantes de la cadena de valor (Hemann et al., 2016; McKinsey Digital, 2015).

Siguiendo el punto anterior, la Industria 4.0 consiste en un sistema tecnológico complejo que permite una integración generalizada, donde todos los elementos de fabricación intercambian de forma autónoma, realizan acciones y se controlan de forma independiente, abarcando tecnologías de fabricación digital, comunicación de red, informática, automatización, entre otras; de esta forma, los diversos procesos de la cadena de valor operan de manera flexible, eficiente y ecológica con alta calidad y bajo costo (Pereira y Romero, 2017; Wang et al., 2016). Este fenómeno pretende crear procesos más inteligentes que se caracterizan por pequeñas redes de producción descentralizadas y digitalizadas que actúan sin intervención humana y controlan sus operaciones en función de los cambios y requisitos del entorno. Por lo tanto, la Industria 4.0 resulta ser un nuevo paradigma que transforma los sistemas de fabricación al enfocarse en la creación de productos y procesos a través de fábricas, máquinas y sistemas inteligentes integrando el mundo físico y virtual por medio de la tecnología de los sistemas ciber físicos (Nunes et al., 2017; Pereira y Romero, 2017).

Basado en las diversas connotaciones recopiladas por Rejikumar, Raja, Arunprasad, Jinil y Sreeraj (2019), la Industria 4.0 es: (1) una estructura que se basa en la integración de las cadenas verticales y horizontales, la digitalización de la administración y los artículos, y la transformación de cómo se estructuran las organizaciones; (2) un concepto que vincula un nuevo sistema de producción inteligente con la transformación de la cadena de valor permitiendo la conexión en tiempo real de todos los elementos clave de la organización; y, (3) el uso de los avances mecánicos más recientes junto a la conexión en la red que logra construir niveles de digitalización e informatización de todos los procesos de una empresa. Además, Mogos et al. (2019) resalta que las empresas industriales, en el marco de la Industria 4.0, se conectarán en redes globales

altamente integradas en sistemas ciber físicos que posibilitan a su maquinaria, fábricas y almacenes comunicarse entre sí y con los humanos en tiempo real, adaptándose a diferentes circunstancias a través del análisis de data del entorno.

Además, la Industria 4.0 transforma la producción, eliminando los límites entre el mundo digital y físico, a través de diversos avances tecnológicos y permite que las relaciones de producción tradicionales entre proveedores, productores y clientes, así como entre humanos y máquinas sean más eficientes (Pereira y Romero, 2017; Xu et al., 2018). Diversos autores mencionan que existen nueve tendencias o pilares tecnológicos (ver tabla 1) que forman parte de los componentes básicos de la Industria 4.0 y permitirán desplegar todo el potencial de esta nueva revolución industrial: (1) Big Data y Analítica; (2) Robots Autónomos; (3) Simulación; (4) Internet de las Cosas; (5) Sistemas ciber físicos; (6) Computación en la nube; (7) Realidad Aumentada; (8) Fabricación Aditiva; y, (9) Ciberseguridad.

**Tabla 1: Pilares tecnológicos de la Industria 4.0**

<b>Pilar tecnológico</b>	<b>Autores</b>	<b>Definición</b>
Big Data y Analítica	(Court, 2015; Kagermann, 2015; Pereira y Romero, 2017; Rübmann et al., 2015; Tao y Qi, 2019)	Capacidad de capturar una gran cantidad de datos en tiempo real de forma simultánea al procesamiento y análisis, donde los patrones hallados producen conocimiento accionable para los tomadores de decisiones y las máquinas.
Robots Autónomos	(Alcácer y Cruz-Machado, 2019; Moeuf et al., 2018; Rübmann et al., 2015)	Robos con alto grado de autonomía, flexibilidad, colaboración y cooperación dentro de las fábricas. Toman decisiones basados en información obtenida en tiempo real para realizar acciones sin la interacción de un operador.
Simulación	(Alcácer y Cruz-Machado, 2019; Moeuf et al., 2018; Rübmann et al., 2015)	La simulación permite construir un espacio virtual para realizar pruebas y optimizar la configuración de las máquinas para los siguientes productos sin requerir una prueba física.
Internet de las Cosas	(Nunes et al., 2017; Tao y Qi, 2019; Xu et al., 2018)	Infraestructura de red global que conecta una gran cantidad de dispositivos inteligentes, los cuales, no solo recopilan información sino también se interconectan con otros objetos para intercambiar datos y realizar acciones a través de Internet.
Sistemas ciber físicos	(Jazdi, 2014; Moeuf et al., 2018; Mohamed, 2018; Pereira y Romero, 2017; Xu et al., 2018)	Mecanismos que habilitan el control y monitoreo a través de algoritmos directamente integrados en todos los sistemas. Esto permite que los objetos estén comunicados y puedan configurarse en tiempo real. Tienen la capacidad de integrar, controlar y coordinar procesos y operación físicas, simultáneamente a la entrega, uso y procesamiento de los datos virtualmente.
Computación en la nube	(Kagermann, 2015; Schmidt et al., 2015; Velásquez, Estevez y Pesado, 2018)	Capacidad de almacenamiento necesario para el creciente volumen de datos generados por medio de las máquinas y los sensores; además, la información puede ser accedida desde diversos lugares y diferentes horarios.

**Tabla 1: Pilares tecnológicos de la Industria 4.0 (continuación)**

<b>Pilar tecnológico</b>	<b>Autores</b>	<b>Definición</b>
Realidad Aumentada	(Alcácer y Cruz-Machado, 2019; Syberfeldt, Danielsson, Holm y Wang, 2015; Syberfeldt, Holm, Danielsson, Wang y Brewster, 2016)	La realidad aumentada es una tecnología que permita incrementar la percepción de los operadores haciendo uso de información artificial sobre el entorno. El sistema tiene la habilidad de: (a) combinar objetos reales y virtuales en un entorno real, (b) alinear los objetos reales y virtuales; y, (c) correr interactivamente, en 3D y en tiempo real.
Fabricación Aditiva	(Alcácer y Cruz-Machado, 2019; Chong, Ramakrishna y Singh, 2018; Hoejin, Yirong y Tzu-Liang, 2018; Vaidya, Ambad y Bhosle, 2018)	Proceso de creación de pequeños lotes de productos personalizados u objetos 3D basados en la deposición de materiales capa-por-capa bajo un sistema controlado por computadora. Permite crear prototipos para permitir la independencia de los elementos de la cadena de valor y lograr una reducción de tiempo en diseño y el proceso de fabricación.
Ciberseguridad	(Alcácer y Cruz-Machado, 2019; Kannus y Ilvonen, 2018; Murillo, Gaur, Giraldo, Cardenas y Rueda, 2018; Rübmann et al., 2015; Xu et al., 2018)	Nuevo nivel de seguridad de la información que permite aplicarse también en entornos industriales y del Internet de las Cosas, buscando detectar, proteger y responder a los ataques cibernéticos internos y externos. Ante los avances tecnológicos de la Industria 4.0, las comunicaciones seguras y confiables, así como la gestión sofisticada de identidad y acceso de máquinas y usuarios son esenciales.

En síntesis, la Industria 4.0 es un nuevo paradigma que permite alcanzar un nuevo nivel de digitalización, control e integración vertical y horizontal en toda la cadena de valor del ciclo de vida de los productos. Las fábricas serán “inteligentes” porque al ser estructuradas modularmente con sensores integrados en los componentes de los productos y en los equipos de fabricación, el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas o la Computación en la Nube, permiten a los sistemas ciber físicos vincular los procesos del mundo físico con la conectividad virtual de la red. Con ello, se podrá intercambiar una gran cantidad de información que, al ser analizada por los propios sistemas ciber físicos, podrán realizar acciones, tomar decisiones descentralizadas y controlar el proceso de forma autónoma. De esta manera, los procesos que componen la cadena de valor de la organización operaran de manera flexible, adaptándose a diferentes circunstancias del entorno, logrando mayor eficiencia y calidad a un menor costo.

### **1.3. Principios clave de diseño de entornos de la Industria 4.0**

A partir de la síntesis en la definición del concepto de Industria 4.0, es importante señalar que la creciente integración de este fenómeno en la cadena de valor de las industrias requiere comprender cuáles son los principios que permiten diseñar entornos organizacionales ligados al concepto de la Industria 4.0, dónde las diversas tecnologías que están emergiendo puedan tener

una aplicación real en los procesos de las empresas. Existen diversas clasificaciones, pero se pueden sintetizar en 3 grupos.

### ***1.3.1. Interconexión, interoperabilidad y modularidad***

Un primer grupo de principios se fundamentan en la interconexión, entendida como la capacidad de las máquinas de relacionarse directa e indirectamente con todos los sistemas y procesos de la cadena de valor en una organización. Según Hermann et al. (2016), las máquinas, dispositivos, sensores y personas se conectan a través del Internet de las Cosas, siendo las tecnologías de comunicación inalámbricas el eje clave para que los objetos y las personas puedan compartir información y colaborar en manera conjunta por medio del acceso a la red. Por este motivo, los diversos sistemas, objetos, personas y máquinas se interconectan para formar la base de una colaboración conjunta que permite alcanzar objetivos comunes en las organizaciones.

De esta manera, la Industria 4.0 permite que los sistemas de producción se fundamenten en la interoperabilidad; es decir, tengan la posibilidad de interactuar con otros sistemas, que conlleven la necesidad de conectar, comunicar y operarse en conjunto (Rejikumar et al., 2019). Esta característica permite que los diferentes componentes de un sistema puedan comunicarse y comprender el significado de los datos, tomando decisiones con mucha mayor flexibilidad y soporte (Ghobakhloo, 2018). Además, la posibilidad de interacción entre estos sistemas permite compartir la información clave en cada etapa del proceso de producción y automatizar las respuestas ante cambios en la configuración del propio proceso o producto; la interoperabilidad alude a la capacidad de todos los segmentos para formar equipos, transmitir y trabajar juntos a través del Internet de las cosas (Xu et al., 2018).

La modularidad es otra característica que forma parte de este primer grupo de principios de diseño de la Industria 4.0, que se vincula con el cambio de fabricación lineal y los sistemas rígidos de producción hacia un sistema con mayor agilidad que se adapte a los requisitos cambiantes del entorno (Gilchrist, 2016). Esta característica involucra todos los niveles de producción y construye cadenas de suministros ágiles, un sistema de flujo de materiales flexible; y genera un procedimiento de toma de decisiones modulares que permite rapidez y eficiencia en los procesos (Ghobakhloo, 2018). Se debe destacar que la modularización permite que las fábricas adquieran mayor adaptabilidad como guía de planificación en la Industria 4.0 para ajustarse a las fluctuantes demandas del mercado y a las variaciones en el entorno; de esta forma, los fabricantes se aseguran de que la fabricación de los productos sea optimizada al tener un menor grado de perturbación externa en los diferentes artículos y procedimientos (Hermann et al., 2016; Rejikumar et al., 2019).

### ***1.3.2. Descentralización y Capacidad en tiempo real***

Un segundo grupo de principios se vinculan a la descentralización y a la capacidad en tiempo real que la tecnología utilizada en la Industria 4.0 otorga a los procesos dentro de una empresa. Las decisiones descentralizadas se rigen por la interconexión de objetos y personas, así como en la visibilidad total de la información tanto interna como externa de una instalación de producción. La descentralización concede a la organización utilizar la información local y global, para tomar mejores decisiones y aumentar la productividad general; ya que, sus computadoras, sensores y actores integrados pueden monitorear y controlar el mundo físico de forma autónoma (Hermann et al., 2016; Lee, Bagheri y Kao, 2015).

Así mismo, la descentralización faculta a que los componentes de la fábrica trabajen de manera independiente y tomen decisiones de forma autónoma, alineados con los objetivos finales de la organización (Gilchrist, 2016). La Industria 4.0 se caracteriza por este principio porque la coordinación y planificación de los procesos se simplifican, porque los mecanismos de control reducen significativamente su complejidad al proporcionar mayor libertad de toma de decisiones a la tecnología en las diversas etapas del sistema de producción (Ghobakhloo, 2018). En síntesis, la descentralización otorga poder a una planta de procesamiento inteligente para que determine las decisiones correctas independientemente sin desviarse del objetivo jerárquico definitivo establecido por la propia organización (Gilchrist, 2016; Rejikumar et al., 2019).

En general, la Industria 4.0 se fundamenta en datos acumulativos, en tiempo real y en el mundo real, obtenidos por diversos sensores colocados en cada ítem dentro de un sistema de producción. Esto significa que todo el sistema puede analizar en tiempo real la misma información, pero desde diversas dimensiones y/o perspectivas, lo que posibilita la toma de decisiones en tiempo real de acuerdo con la nueva información interna y/o externa (Lee et al., 2015; Tao y Qi, 2019). Por consiguiente, la recopilación, la analítica y el monitoreo de los datos ocurren simultáneamente a la ejecución de los mismos procesos (Lee et al., 2015; Rejikumar et al., 2019).

Con relación a lo mencionado anteriormente, la facultad de descentralizar y tomar decisiones en tiempo real se genera porque la Industria 4.0 posee la característica de la virtualización, que permite realizar copias digitales de todos los componentes de la cadena de valor en el almacén, la fábrica, los equipos, las máquinas y los productos. Esta copia virtual optimiza las líneas de producción porque permite tomar decisiones que modifican los componentes sin interrumpir los procesos físicos que se han virtualizado (Ghobakhloo, 2018; Gilchrist, 2016). Sucesivamente, permite a los fabricantes tener un registro completo de sus productos existentes o nuevos en todo el ciclo de vida, desde el diseño hasta el desarrollo final

del producto, lo que genera mayores capacidades de acción en caso las condiciones del entorno afecten el sistema de producción virtualizado (Tao y Qi, 2019).

### ***1.3.3. Integración vertical y horizontal de los sistemas y transparencia en la información***

Un tercer grupo de principios que caracterizan a la Industria 4.0 es la integración vertical y horizontal de los sistemas que componen la cadena de valor de la empresa. La integración de los sistemas alude al proceso de agrupar diversos subsistemas de componentes en un sistema único que permita entregar la funcionalidad, el producto y/o el servicio deseado tomando en cuenta todos los requisitos de cada subsistema. Evolucionar hacia la Industria 4.0 requiere la integración vertical de capa sobre capa entre sistemas y tecnología, es decir, se deben construir redes verticales que integren las fábricas inteligentes, los productos y otros dispositivos inteligentes dentro de la organización (Ghobakhloo, 2018; Posada et al., 2015). No obstante, la integración no se restringe a los sistemas y tecnologías de fabricación, sino también toma en cuenta la integración horizontal para enlazar todas las funciones y datos por medio de la cadena de valor en el ámbito global. A través de esta integración que incluye a los proveedores, socios comerciales y clientes, se facilita la construcción de redes que crean y agregan valor (Rübmann et al., 2015).

Según Kagermann, Wahlster y Helbig (2013), la integración horizontal se refiere a la integración de diferentes sistemas de TI, procesos, recursos y flujos de información dentro de una organización y entre otras organizaciones; en cambio, la integración vertical se refiere a la integración de esos mismos elementos a través de los departamentos y niveles jerárquicos de una organización, tomando en cuenta la fabricación, logística y ventas. A través de este proceso de integración, se puede ofrecer una solución de extremo a extremo en toda la cadena de valor, facilitando el intercambio de información, la personalización de la propuesta de valor hacia el cliente y la reducción de costos operativos en la organización.

En la Industria 4.0, la compleja labor de intercambiar datos entre las empresas, departamentos, funciones y capacidades para los productos y la producción entre múltiples socios será facilitada por medio de la integración. A medida que las redes universales de integración de datos entre compañías evolucionan y permiten cadenas de valor automatizadas (Rübmann et al., 2015). Por lo tanto, la interconectividad resultante de esta integración entre los proveedores, fabricantes y clientes, junto a la gran cantidad de información consolidada en la computación en la nube dentro de la plataforma del Internet de las Cosas, ha brindado un nuevo ecosistema de fabricación que permite a las empresas comunicar sus necesidades y capacidades de fabricación de forma automática. Es así como varias tareas de fabricación complejas pueden desarrollarse en

colaboración con varios servicios de fabricación de diferentes empresas de forma rápida, eficiente y con una mayor personalización (Ghobakhloo, 2018; Tao y Qi, 2019).

Otro aspecto importante de este principio resulta ser la transparencia de la información entre todas las partes del sistema integrado. El creciente número de objetos y personas interconectadas genera una cantidad de información que requiere ser visible por todas las partes para que, dentro de los procesos de la cadena de valor, se tomen decisiones automatizadas, alcanzando una mayor claridad en la obtención y uso de la información (Kagermann, 2015). La información siempre se ve influenciada por el contexto, por lo que, es indispensable que los participantes puedan tener la información adecuada y logren tomar las decisiones correctas con base en los resultados del análisis de datos sin interferir en la continuidad del sistema integrado (Hermann et al., 2016).

#### **1.4. Beneficios y limitaciones**

Numerosos autores recalcan que la implementación de la Industria 4.0 requiere considerar ciertos retos y/o cuestiones prácticas para identificar cuál tecnología resulta ser la más idónea para obtener valor en el contexto en que se encuentre la organización. Adoptar este nuevo cambio implica aspectos del ámbito científico, tecnológico, económico y social. Entre estos retos (ver Anexo A) se destaca: la necesidad de que los trabajadores desarrollen nuevas habilidades, competencias, responsabilidades y formas de trabajo; el ajuste de los procesos en términos de tecnología, conectividad, precisión e intercambio de información; la descentralización de la toma de decisiones; la incertidumbre acerca de los beneficios financieros; la falta de estrategias claras; la resistencia al cambio; la necesidad de contar con mecanismos inteligentes, protocolos de interconectividad, garantía de calidad e integridad de datos, unidades de transporte modular, entre otros requerimientos tecnológicos (Küsters, Praß y Gloy, 2017; Mohamed, 2018; Stock y Seliger, 2016; Vaidya, Ambad y Bhosle, 2018; Wang et al., 2016).

Por otra parte, desde esta nueva perspectiva de infraestructura industrial, surgen varios beneficios (ver Anexo B). Entre ellos los autores resaltan: la implementación del prototipado a través de la simulación o la realidad aumentada; la mayor flexibilidad de las máquinas que permite la personalización individualizada, la asignación rápida y eficiente de recursos; el desarrollo de mejores capacidades organizacionales; la reducción de los tiempos de respuesta ante el cambio o pedidos; la reducción de la sobreproducción, desperdicio, consumo de energía y ahorro de los recursos naturales; el control de la producción de forma autónoma y descentralizada; el incremento de la productividad, competitividad e innovación; mejora en costos de transporte y almacenamiento; mejoramiento del pronóstico de demanda; la generación de mejores alternativas

de control y monitoreo a lo largo de la cadena de suministro; entre otros (Kayikci, 2018; Mohamed, 2018; Pereira y Romero, 2017; Waibel, Steenkamp, Moloko y Oosthuizen, 2017).

## **2. Factores clave de preparación para el proceso de implementación de la Industria 4.0**

Para que las organizaciones puedan alcanzar los objetivos que la Industria 4.0 requiere, es necesario tener en consideración ciertos factores críticos que son necesarios desarrollar para que se asegure un desempeño competitivo exitoso en una organización. Estos factores son definidos como un número limitado de áreas que apoyan el logro de las metas organizacionales y permiten distinguir el éxito o fracaso de los proyectos emprendidos por las empresas; no obstante, los gerentes de estas organizaciones requieren de la información necesaria para poder monitorear estas áreas específicas para poder determinar si los procesos se están desarrollando suficientemente bien (Bullen y Rockart, 1981; Rockart, 1979; Zwikael y Globerson, 2006). De esta forma, se considera relevante identificar esos factores y presentar aquellos que son claves para evaluar la preparación de la Industria 4.0 en una organización siguiendo la investigación realizada por Sony y Naik (2019).

### **2.1. Estrategia organizacional**

El proceso de transformación de las organizaciones hacia la Industria 4.0 no solo se encuentra vinculada con cambios en la cadena de suministros o la producción en la fábrica; más bien, se debe tener en cuenta todos los aspectos que caracterizan a las organizaciones y cómo estos se relacionan con los cambios que ocurren en la sociedad (Keller, Rosenberg, Brettel y Friederichsen, 2014). De la misma manera, Santos, Mehrai, Barros, Araújo y Ares (2017) mencionan que existen cambios en las relaciones a largo plazo entre: (1) la organización y el entorno natural, lo que conlleva a buscar optimizar la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad de los sistemas de fabricación; (2) las organizaciones y las comunidades locales, lo que implica buscar mayor proximidad e integración de los clientes en los procesos de diseño y fabricación; (3) la organización y las cadenas de valor, que permite, a través de procesos colaborativos, la personalización masiva de productos y servicios; y, (4) la organización y los humanos, donde se implementan interfaces que buscan integrar a los humanos con la tecnología y mejorar las condiciones de trabajo. Por este motivo, la estrategia que las empresas diseñen será un factor importante para poder evaluar la preparación de una organización para la Industria 4.0.

Por otro lado, se mencionó que un principio clave del concepto de la Industria 4.0 es la interoperabilidad que permiten a los diferentes sistemas de producción y sus componentes puedan comunicarse y comprender los datos, a través del Internet de las Cosas, para tomar decisiones con mayor flexibilidad y rapidez (Ghobakhloo, 2018; Rejikumar et al., 2019). Esta interoperabilidad

de sistemas puede concretarse cuando las nuevas tecnologías habilitadas para la comunicación facilitan este intercambio de información de manera que la toma de decisiones y el control se pueden descentralizar (Santos et al., 2017). Por lo que, a lo largo del proceso de implementación de la Industria 4.0, las organizaciones también deben diseñar una estrategia que comprenda cómo, progresivamente, se debe trabajar en el aspecto técnico de los sistemas de fabricación para que alcancen el nivel de interoperabilidad deseado (Sony y Naik, 2019).

Además, según Schumacher, Erol y Sihm (2016), los elementos del planeamiento estratégico como la visión, misión, valores, objetivos, planes de acción, indicadores clave de rendimiento, el análisis del entorno, entre otros; y, la identificación de los campos de acción estratégicos de las organizaciones para la implementación de la Industria 4.0 serán influenciados por tomar en consideración la relación y unión de tecnologías digitales y físicas que requieren comprender a la organización desde una perspectiva diversa y menos predecible. Este cambio de perspectiva también modifica diversas áreas principales relacionadas al diseño mismo de los modelos de negocio, donde la Industria 4.0: (1) modifica la propuesta y la creación de valor, teniendo un mayor enfoque en datos; (2), traslada las ofertas de las organizaciones hacia los sistemas y no productos; (3) optimiza la personalización para satisfacer las necesidades específicas de los clientes; (4) requiere de un mayor conocimiento de TI y software como recursos claves; y, (5) busca una mayor interconexión y colaboración entre los socios clave del negocio (Müller et al., 2018).

Siguiendo sobre el mismo punto, la investigación realizada por Erol, Schumacher y Sihm (2016) a través de las experiencias de diversos talleres de orientación estratégica con empresas, ha demostrado que existe un doble desafío vinculado a los cambios que la Cuarta Revolución Industrial conlleva. En primer lugar, la comprensión de cómo relacionar el concepto de la Industria 4.0 y vincularlo con algún dominio específico de la organización; y, por otro lado, les resulta complicado identificar los campos estratégicos de acción que les permita implementar la tecnología 4.0 en sus procesos. Por este motivo, para abordar estos desafíos, los autores desarrollaron un modelo de tres etapas para la construcción de la visión y la estrategia hacia la Industria 4.0, porque esto resulta fundamental para tener éxito en la implementación de este nuevo paradigma.

Dentro de la etapa de “Visionamiento”, las empresas deben familiarizarse con los principios clave de la Industria 4.0, construir su propia comprensión y alinear este concepto con los objetivos específicos de la empresa y las necesidades de sus clientes. En la etapa de “Habilitar”, la empresa debe dedicarse a descomponer la visión a largo plazo en un conjunto de estrategias que permitan facilitar el proceso implementación de la tecnología 4.0 (Ganzarain y

Errasti, 2016). Finalmente, la etapa “Promulgar” tiene el foco en transformar estas estrategias en iniciativas concretas, donde se deben definir objetivos, equipos y los hitos principales que determinan el éxito de la implementación. Luego, las iniciativas se evalúan y priorizan tomando en cuenta los recursos disponibles, los riesgos potenciales y el impacto esperado.

Finalmente, diversos expertos evidencian que la estrategia resulta ser un factor crítico de éxito porque permite a las organizaciones reconocer el *roadmap* correcto para integrar sus estrategias de negocio con la nueva era de digitalización de procesos y productos, la optimización de los elementos que componen su modelo de negocio, establecer cuáles son las herramientas y los indicadores de medición para monitorear las actividades enfocadas en la Industria 4.0; y, finalmente, asignar los recursos adecuados para ir fortaleciendo las áreas implicadas en la transformación digital (Erol et al., 2016; Moeuf et al., 2019). La transformación de la empresa debe siempre partir de la definición de una estrategia clara porque permite comprender los procedimientos necesarios, la duración del proceso de cambio, los hitos que determinan el avance de la transformación, el presupuesto a ser asignado en cada iniciativa; y, tener una visión detallada de cuáles son los riesgos que podrían detener el proceso de implementación del concepto de la Industria 4.0 en la organización (Biegler, Steinwender, Sala, Sihm y Rocchi, 2018).

## **2.2. Nivel de digitalización de la organización**

Otro factor crítico para que las organizaciones puedan adoptar los principios y pilares tecnológicos de la Industria 4.0 es el nivel de digitalización de los activos, máquinas, sistemas y procesos dentro de las organizaciones. La implementación de la Industria 4.0 se vincula principalmente con el nivel de sensorización en los activos y máquinas de la empresa; es decir, para que se pueda alcanzar el nivel de digitalización requerido, se debe equipar de sensores que permitan detectar diversos parámetros de relevancia y obtener datos que le permita a los propios sistemas tomar decisiones autónomamente y adquirir mayor transparencia tanto en la planificación como en la operación (Lichtblau et al., 2015; Sony y Naik, 2019). Además, se debe tener un uso extensivo del internet, no solo como canal de comunicación y conexión entre máquinas, dispositivos, sensores y personas, sino como mecanismo para la generación de nuevas funcionalidades en los productos. Cuando las empresas integran el internet con el gran volumen de datos recabados por los sensores, presentes en diversas ubicaciones de la empresa, se incrementa significativamente la digitalización de la organización (Bassi, 2017).

De la misma manera, según Lasi et al. (2014) la Industria 4.0 implica que, a través de los procesos de fabricación y las herramientas de soporte de fabricación, se puedan registrar una cantidad elevada de datos de actores y sensores que den soporte a las funciones de monitoreo y diagnóstico en las organizaciones. De esta forma, los procesos digitales evolucionan como

resultado del incremento de la red de componentes técnicos y de la digitalización de los bienes producidos por la empresa, lo que conduce a un entorno completamente digitalizado adecuado para la implementación de las tecnologías 4.0. Para que este entorno compuesto por sensores, máquinas, piezas de trabajo y sistemas de TI estén conectados en toda la cadena de valor y puedan interactuar entre sí mediante protocolos automáticos establecidos, la empresa debe lograr digitalizar los componentes de sus productos y de sus procesos (Rübmann et al., 2015).

Siguiendo sobre el mismo punto, la implementación de la Industria 4.0 también evidencia la necesidad de contar una producción altamente automatizada, donde los sistemas de manufactura, producción, distribución y los elementos dentro de ellos, se coordinan, controlan y monitorean por sí mismos con poca intervención humana (Bassi, 2017; Meyer, Främpling y Holmström, 2009; Weyer, Schmitt, Ohmer y Gorecky, 2015; Zuehlke, 2010). Esto resulta posible con los sistemas ciber físicos, como se detalló anteriormente, que habilitan el control y monitoreo a través de algoritmos integrados a la infraestructura de TI con capacidad de acompañar los procesos físicos con los procesos digitales, brindando a los objetos dentro de los sistemas comunicarse y configurarse en tiempo real (Lee et al., 2015; Moeuf et al., 2018; Mohamed, 2018; Zanero, 2017). Por estos motivos, la capacidad de que los procesos de la organización adquieran la capacidad de interactuar, comunicarse y controlarse depende en gran medida del grado de integración de los activos ciber físicos dentro de una organización; y, por consiguiente, resulta ser un determinante del éxito en la implementación de la Industria 4.0 (Baheti y Gill, 2011; Sony y Naik, 2019).

Por otra parte, la recolección de data, el procesamiento de data, la difusión de data y la toma de decisiones debe progresivamente ser digital para conducir a una mejor utilización de los recursos de la organización (Storey y Song, 2017). Además, para que este nuevo uso de la data obtenida por los sensores y las máquinas tenga un efecto escalable dentro de la organización, se requiere contar con una interfaz de colaboración en línea, donde las diversas funciones de producción, sistemas de información y humanos se interconectan. Para que esto sea posible, el nivel de digitalización dentro de la empresa debe ser muy alto; es decir, la gestión de los datos de los activos de la organización debe ser automatizados porque esto conducirá a modelos optimizados de toma de decisiones utilizando las tecnologías de la Industria 4.0 (Lasi et al., 2014; Monostori, 2014; Schlechtendahl, Keinert, Kretschmer, Lechler y Verl, 2014).

Finalmente, al integrar los activos de la organización, como por ejemplo las máquinas con sistemas de organización, las tecnologías que forman parte de la Industria 4.0 optimizarán la utilización de los recursos solo si los datos que se generan son organizados, almacenados, analizados y compartidos debidamente para que los modelos de toma de decisiones dentro de la

organización puedan desplegarse digitalmente (Lee, Kao y Yang, 2014). Parte fundamental de la Industria 4.0 es el requerimiento de que los sistemas TI deben brindar soporte completo, ser compatibles y estar integrados completamente con todos los procesos de la empresa para que las decisiones sean verdaderamente autónomas (Hofmann y Rüsçh, 2017; Lichtblau et al., 2015; Sony y Naik, 2019).

### **2.3. Grado de digitalización de la cadena de suministros**

Un tercer factor crítico de éxito se encuentra relacionado a cómo el grado de digitalización de la cadena de suministros resulta importante para la Industria 4.0. De hecho, se argumenta que los resultados de estos cambios sólo pueden convertirse en realidad si la cadena de suministros proporciona, a los diversos sistemas de producción, los elementos de entrada requeridos en el momento, calidad y lugar adecuado (Hofmann y Rüsçh, 2017). Asimismo, la Cuarta Revolución Industrial ha afectado severamente las interacciones de la cadena de suministro, principalmente debido al crecimiento exponencial de datos sensibles y la difusión de los procesos digitalizados (Ghobakhloo, 2018). Por este motivo, es necesario mencionar las características principales que la cadena de suministros debe tener para que se pueda diseñar, implementar e integrar los pilares tecnológicos 4.0 en las organizaciones.

Por un lado, las características del entorno requieren una Administración de la Cadena de Suministros con mayor flexibilidad y agilidad, donde se diseñen procesos de producción, almacenamiento, seguimiento, distribución y monitoreo de los productos con una alta capacidad de adaptación; una coordinación en tiempo real de los flujos de materiales y el transporte; una gestión con mayor precisión de los riesgos; la optimización de la toma de decisiones en cuanto a la planificación de los suministros y el pronóstico de la demanda; y, una reducción del costo en las diferentes etapas de la cadena (Avilés-Sacoto et al., 2019). Parte de estos cambios requeridos se logran gracias a la digitalización y la integración de los sistemas físicos con la conectividad virtual a lo largo de toda la cadena de suministros; ya que, este grado de digitalización permite que todos los elementos de la cadena pueden beneficiarse por la adquisición, interpretación y control de los datos generados en tiempo real (Tan, Ang, Lu, Gan y Corral, 2016).

Además, Kayikci (2018) menciona que la digitalización en la cadena de suministros toma el rol de instrumento para alcanzar la Industria 4.0. Según este autor, las características de la digitalización son seis: (1) cooperación, en el intercambio de la información y la integración de los datos; (2) conectividad, referida a la habilidad de la tecnología de actuar como interfaz hacia otros recursos digitales en la red y la capacidad de permitir la integración vertical desde los proveedores hasta los clientes, así como la integración horizontal entre los actores a lo largo de la cadena de suministros; (3) adaptabilidad, donde la cadena de suministros se adapta a los cambios

ejercidos por un agente externo; (4) integración, entendida como la habilidad de los sistemas de conectarse, integrar y compartir cualquier información, dispositivo, sistema y procesos en tiempo real; (5) control autónomo, donde los procesos logísticos actúan de forma independiente; y, (6) mejora cognitiva, como la capacidad de aprender y reconfigurar los sistemas a partir de las acciones que se realizan en los procesos logísticos.

Por este motivo, la cadena de suministros debe ser un ecosistema completamente integrado donde todos los actores comparten la información clave: desde los proveedores de materias primas, componentes y piezas, los fabricantes y sus distribuidores, hasta los clientes finales. A medida que las empresas integran a los proveedores y clientes en sus actividades de creación de valor dentro de la cadena de suministros, se incrementa el nivel de transferencia y transparencia de la información para los actores, logrando impactar positiva o negativamente en los resultados del proceso; no obstante, para que esto pueda desarrollarse correctamente, tanto proveedores, empresa y clientes deben aprender a compartir datos de una manera que beneficie a todos los socios de la cadena de suministros (Kayikci, 2018; Müller et al., 2018; Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber y Prote, 2014).

Una organización que busca convertirse en Industria 4.0 utiliza información en línea y en tiempo real para alcanzar mayores niveles de eficiencia y efectividad en los procesos logísticos. Por lo tanto, resulta trascendental que pueda utilizar la tecnología GPS para localizar y monitorear con precisión a los vehículos mientras se están trasladando; además, debe contar con sistemas que permitan consolidar los envíos y se encuentren en completa interacción con los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, en sus siglas en inglés). Todo esto conlleva que se incorporen la mayor cantidad de objetos equipados con códigos de barras, etiquetas RFID o sensores para que las empresas adquieran la capacidad de controlar en tiempo real el movimiento de los activos desde un origen a un destino en toda la cadena de suministro, incluyendo los procesos del proveedor, fabricante y distribuidor (Barreto, Amaral y Pereira, 2017).

Finalmente, con una gran dependencia tecnológica para obtener una ventaja competitiva gracias a la cadena de suministros 4.0, la seguridad de la información es uno de los requisitos más críticos y desafiantes para llevar a cabo el proceso de adopción del paradigma Industria 4.0. Se debe tomar en cuenta que, las nuevas soluciones con tecnología siempre conllevan vulnerabilidades o riesgos de seguridad inesperados. Dentro de este panorama, las organizaciones deben desarrollar esfuerzos para garantizar su capacidad de proteger sus activos de información e infraestructura de TI. Por este motivo, las empresas que incorporan la tecnología 4.0 deben identificar, implementar, monitorear y evaluar el conjunto de controles más efectivo que permita tener un nivel adecuado de seguridad para la continuidad del negocio (Barreto et al., 2017).

## **2.4. Adaptabilidad de los empleados con la Industria 4.0**

El continuo desarrollo de la tecnología y la implementación de la Industria 4.0 conduce a una creciente digitalización y automatización de los procesos en las organizaciones. En consecuencia, la estructura y los espacios de trabajo también cambian porque las operaciones, especialmente aquellas que requieran un análisis en tiempo real de la información o puedan automatizarse, serán respaldadas por los sistemas ciber físicos. Por este motivo, la reasignación de empleos requiere la educación y la capacitación de los empleados para que puedan ejecutar sus funciones en nuevas áreas de responsabilidad.

Además, ante la necesidad de diseñar nuevos productos con mayor velocidad, personalización y con menos tiempos de espera, imponen requisitos avanzados a las máquinas, instalaciones, procesos; y, por consiguiente, los empleados requieren adquirir un rol de control y monitoreo para que estas puedan desempeñarse correctamente en las tareas repetitivas, y las tareas altamente complejas e irregulares, constituirán la rutina diaria de trabajo (Fettig, Gacic, Koskal, Kuhn y Stuber, 2018). Por otro lado, se debe destacar que las habilidades tradicionales que regularmente las organizaciones han requerido no tendrán el mismo valor para las organizaciones; es decir, los trabajadores deben adquirir nuevas habilidades con un nivel de complejidad mayor (Pinzone et al., 2017).

Según la investigación realizada por Gehrke y Rule (2015) sobre las necesidades de desarrollo de la fuerza laboral de la fábrica del futuro, se señala que cuatro factores tendrán gran influencia determinar las tareas de la mano de obra calificada. En primer lugar, las herramientas y las tecnologías adquieren mayor capacidad de automatización, proporcionan a los trabajadores la información necesaria en tiempo real, y optimizan las interfaces hombre-máquina; por lo que, no se requiere mano de obra para realizar tareas manuales, sino que la supervisión y la aplicación eficiente de las máquinas por los humanos se convertirá en lo fundamental de su trabajo.

En segundo lugar, debido al hecho de que las áreas de producción se integrarán y los trabajadores, al ser capaces de trabajar con todo el flujo de la información, no necesariamente se encontrarán vinculados a una determinada área; por el contrario, las nuevas habilidades que estos obtendrán gracias al uso de los dispositivos inteligentes permitirán que obtengan mayor rotación y enriquecimiento laboral, teniendo mayor poder de decisión que antes. De esta forma, una vez que la mano de obra calificada recibe mayor poder de decisión e influencia, la organización y su estructura será más plana; y, además, influenciado por la integración vertical y horizontal de los sistemas, la organización de una fábrica del futuro se vuelve más flexible, cambiante y descentralizada (Gehrke y Rule, 2015).

En tercer lugar, el ambiente de trabajo será caracterizado por ser abierto, con mayores espacios creativos y con asignaciones de turno más transparente, teniendo un impacto directo en el desempeño de los trabajadores. El escenario en el que se trabaja ya no requerirá que los trabajadores permanezcan en el área de producción, sino que el responsable podrá supervisar los procesos desde una sala de control compartido sobre la base del trabajo en equipo. Finalmente, en la fábrica del futuro, la cooperación y comunicación intraorganizacional e interorganizacional aumentará significativamente, ya que los trabajadores tendrán dispositivos que les permitirán conectarse en tiempo real con todos los equipos, todo tipo de información y datos que los conducirá a un nivel completamente nuevo de gestión del conocimiento (Gehrke y Rule, 2015).

Por estos factores, las tareas de los trabajadores implicarán mayor procesamiento de datos e información, ya que los procesos en la Industria 4.0 son organizados por el flujo de información. El trabajo en equipo será clave, no solo para desempeñarse eficientemente en la integración vertical y horizontal que se genera dentro de la organización y a lo largo de la cadena de valor; sino también en el mismo lugar de trabajo con los nuevos tipos de sistemas de soporte que facilitarán la conexión máquina-humano. Estos sistemas ayudarán significativamente, pero las decisiones finales seguirán siendo tomadas por los trabajadores, por este motivo la tecnología ayudará, pero no reemplazará al humano (Gehrke y Rule, 2015).

Finalmente, basados en estos factores, se puede concluir que los trabajadores deben adquirir diversas competencias para poder desempeñarse en este nuevo entorno 4.0. Desde la perspectiva técnica, resulta clara la necesidad de capacidades relacionadas al uso de las TI, al procesamiento y análisis de datos, y a la capacidad por comprender e interactuar con interfaces modernas de conexión con los sistemas ciber físicos. Además, resultará obligatorio tener cierta sensibilidad y conocimiento vinculada a la seguridad TI, la protección de datos, la tecnología de automatización y el desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia. Cabe resaltar que el trabajador de la Industria 4.0 será más un generalista que un especialista (Chryssolouris, Mavrikios y Mourtzis, 2013; Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015; Lichtblau et al., 2015).

Desde la perspectiva de competencias personales y por todos los factores mencionados, se requerirá un mayor nivel de desarrollo en habilidades sociales y de comunicación, habilidades de trabajo en equipo y autogestión. También, será fundamental una mayor capacidad de adaptación al cambio y una mentalidad digital, de mejora y aprendizaje continuo; ya que, será necesario transformar continuamente su forma de trabajar ante el desarrollo acelerado de las herramientas, tecnologías, estructura de la organización, su entorno de trabajo y los propios equipos de los que formará parte (Chryssolouris et al., 2013; Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015).

## 2.5. Productos, servicios y fábrica inteligente

Otro factor crítico de éxito está compuesto por la capacidad de “inteligencia” que adquieren los productos y las fábricas para otorgar mayor personalización a todo el sistema de producción. El producto inteligente apunta a una nueva generación de productos físicos que, gracias a los sensores integrados en ellos, obtienen la capacidad de comunicarse con el entorno y obtener, recopilar, almacenar y transferir datos durante todo el ciclo de vida (Schmidt et al., 2015).

Por lo tanto, en la etapa de fabricación, los productos inteligentes logran comunicar información clave sobre dónde se fabrican, cuál es su estado actual, quiénes lo están manipulando y cuáles son los pasos siguientes para que alcancen el estado deseado. En la etapa de distribución, se pueden monitorear y personalizar alertas en base a los requerimientos que la empresa establezca como prioritarios para que el producto llegue al cliente en el estado deseado; de esta forma, los sensores capturan y transmiten toda la información que se necesita saber sobre el desplazamiento de los activos y unidades de transporte en la organización, para generar analítica digital en tiempo real que permitan tomar decisiones de manera rápida y oportuna (Ghobakhloo, 2018).

La fábrica inteligente representa un entorno de fabricación con altos niveles de producción donde las máquinas y los materiales están conectados a través de la red, donde se reducen los desperdicios, defectos y el tiempo de inactividad. Es importante señalar que, en este entorno, la automatización de las acciones de las máquinas y los equipos, junto a la auto optimización de sus procesos, permiten alcanzar mayores niveles de eficiencia (Ghobakhloo, 2018). La fábrica inteligente es un sistema de fabricación ciber físico que se reconfigura automáticamente para alcanzar un nivel de producción más flexible para los múltiples productos que se quieran desarrollar; tomando en cuenta que, la recolección de información permite que el propio sistema de producción se modifique teniendo como base el análisis de esa información (Wang et al., 2016).

Además, la introducción de la tecnología 4.0 en la empresa permite crear y modificar las características de los productos basado en el rápido y constante cambio de las necesidades del cliente, reveladas por medio de la evaluación y predicción de cómo se comportan los consumidores (Yang et al., 2017). La analítica de la información obtenida a través de los sensores, permiten pronosticar los movimientos y las tendencias del mercado gracias a la identificación de patrones de comportamiento. Esto permite que los sistemas de producción puedan personalizarse y adaptarse a ellos, lo que ocasiona una entrega de mayor valor para el cliente al satisfacer mejor sus necesidades (Wang, Gunasekaran, Ngai y Papadopoulos, 2016).

Por otro lado, Lee et al. (2014) mencionan que la capacidad de “inteligencia” no puede terminar con el producto, sino que las empresas que integren el enfoque de la Industria 4.0 buscan combinar las capacidades de sus productos y la información que se obtiene del uso de ellos por parte de los clientes para poder diseñar nuevos servicios que integren ambos en busca de entregar mayor valor. Por este motivo, Mont (como se cita en Sony y Naik, 2019) señala que la oferta de las organizaciones debe apuntar a generar un sistema de productos, servicios, redes e infraestructura de soporte que están elaborados a partir de información recopilada por los sensores que permitan satisfacer diferentes necesidades de los clientes, resultando en una optimización en la eficiencia de la producción. Esto solo puede resultar si se integran los sistemas ciber físicos con los consumidores finales para crear nuevas oportunidades de servicios inteligentes gracias a la implementación de la Industria 4.0.

Finalmente, recopilar, analizar y gestionar los datos que se obtienen de toda la cadena de suministros son fundamentales para que las organizaciones puedan obtener los beneficios de la Industria 4.0; por lo que, resulta crítico utilizar esta información para que se logren diseñar servicios que sean personalizados por cada necesidad de los consumidores (Lichtblau et al., 2015; Shrouf, Ordieres y Miragliotta, 2014; Wang et al., 2016). Siguiendo sobre el mismo punto, los procesos de post-venta tendrán como foco utilizar la información obtenida por el propio uso de los productos y el monitoreo de su condición; por lo tanto, todos los productos físicos deben contar con un componente TI que transmita los datos a los sistemas de la organización para que se puedan diseñar nuevos servicios personalizados capaces de ser ejecutados en tiempo real (Kagermann, 2015; Lichtblau et al., 2015; Wang, Ma, Yang y Wang, 2017).

### **3. Elementos para una estrategia de implementación de la Industria 4.0**

Las organizaciones que buscan formular, ejecutar y monitorear una estrategia que, a través de la comprensión de los factores y principios clave mencionados en las secciones precedentes, les permita iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0, requiere que se tomen en cuenta dos elementos centrales. En primer lugar, el alineamiento y personalización de un *roadmap*, entendido como planes que integran objetivos a corto y largo plazo con acciones específicas, como la implementación de soluciones tecnológicas, para facilitar el logro de dichos objetivos (García y Bray, 1997). En segundo lugar, dentro de dichos *roadmaps*, la evaluación de cuál es el avance que la organización está teniendo en cuanto al desarrollo sobre un concepto en particular; lo que, requiere el uso de modelos de preparación o madurez que permiten realizar un análisis holístico de este avance tomando en cuenta diversas dimensiones como personas, cultura, procesos, estructuras, entre otros (Mettler, 2011). Ambos elementos resultan vitales para poder plantear lineamientos que permitan a una organización, por medio del reconocimiento de las oportunidades, desarrollar la implementación de la Industria 4.0.

### 3.1. Roadmaps para la implementación de la Industria 4.0

En primer lugar, Anderl y Fleischer (2015) presentan una guía que brinda soporte a las PyMES en la identificación del potencial de los productos y la producción a través de un proceso sistemático relacionado a la Industria 4.0 y sus propias ideas. Para estos autores, la Industria 4.0 afecta todas las unidades de negocio desde el desarrollo, la producción y el servicio; además, requieren el compromiso de la alta gerencia y la creación de un equipo interdisciplinario conformado por trabajadores que tengan experiencia en el área de producción, el área de tecnologías de la información y el área de desarrollo, para que sean ellos quienes apliquen el procedimiento de esta hoja de ruta.

Posterior a ello, Anderl y Fleischer (2015) incluyen en esta guía de implementación una caja de herramientas para la Industria 4.0 que combina diferentes niveles de aplicación vinculados a dos dimensiones: innovación en productos y aplicación de técnicas relacionadas con la producción. Los niveles de aplicación se desglosan cada uno en cinco niveles de desarrollo secuencial tecnológico que se convierten en el punto de partida para clasificar los campos de acción y *expertise* de la empresa, y como base para la creación de nuevas ideas que permitirán generar proyectos específicos de la Industria 4.0 dentro de la organización. La dimensión de productos se subdivide en: integración de sensores y actuadores, comunicación e interconectividad, funcionalidades del almacenamiento de data e intercambio de información, monitoreo, servicios de TI relacionados a los productos y el modelo de negocio alrededor de los productos. Por otro lado, la dimensión de producción se divide en: procesamiento de data, comunicación máquina a máquina, red de toda la empresa con la producción, infraestructura de las TIC, interfaz máquina a máquina y la eficiencia en pequeños lotes.

La guía incluye 5 etapas: (1) preparación, donde se buscará generar un conocimiento profundo sobre el mercado y la propia producción para la futura optimización de los productos y procesos; (2) análisis, con el objetivo de identificar el *expertise* y las competencias disponibles en la compañía vinculado a las tecnologías de la Industria 4.0; (3) creatividad, con el objetivo de la generación de nuevas ideas y conceptos para el modelo de negocio 4.0; (4) evaluación, de los conceptos elaborados previamente e identificar aquellos con alto potencial y poco uso de recursos para generar mayor valor; y, (5) implementación, buscando aplicar los conceptos a través de diversos proyectos. El reporte detalla qué pasos realizar para cada una de las etapas e incluye una caja de herramientas para que se puedan llevar a cabo de forma más práctica en un workshop, siendo este una de las actividades clave de la guía, específicamente en las etapas de Análisis, Creatividad y Evaluación.

Como segunda hoja de ruta, Erol et al. (2016) parten del problema actual de las compañías de tener diferentes percepciones sobre la naturaleza de la Industria 4.0, su amplitud, complejidad, impacto estratégico, operativo e incertidumbre acerca de las medidas concretas necesarias para su proceso de transformación hacia esta nueva revolución. Así, sugieren un modelo de proceso de tres etapas para guiar sistemáticamente a las empresas en su proceso de desarrollo de una visión y una estrategia enfocadas en la Industria 4.0. El modelo, que ha sido aplicado y avanzado dentro de varios proyectos del mundo real, fue desarrollado con el objetivo principal de guiar a las empresas en su proceso de desarrollo de objetivos específicos para la Industria 4.0; así como para la proposición de medidas y planes de acción concretos para alcanzar estos objetivos (Erol et al., 2016).

La primera etapa es el *envisionamiento*, la cual consiste en el alineamiento de la visión de la empresa con los conceptos generales de la visión de la Industria 4.0. En este proceso participan directores, gerentes, socios comerciales, clientes y expertos. La primera fase consiste en la explicación de los pilares conceptuales de la Industria 4.0 a través de expertos y la presentación de las mejores prácticas de la empresa hecha por los profesionales con el fin de hacer una evaluación comparativa y dejar en evidencia la necesidad de cambio. La segunda fase consiste en la fusión de ideas y conceptos, la evaluación y el cuestionamiento de los modelos comerciales, infraestructura tecnológica y habilidades organizativas actuales de la organización para la creación de una visión personalizada que tome en cuenta los desafíos futuros de la nueva revolución industrial (Erol et al., 2016).

La segunda etapa es *habilitar*, en la cual se divide la visión a largo plazo y se desarrollan estrategias concretas para su implementación. Durante este proceso se utiliza la hoja de ruta para la visualización y estructuración de las estrategias a partir de la distinción de cuatro perspectivas representadas por cuatro capas que constituyen la dimensión vertical de hoja de ruta, mientras que el tiempo constituye la horizontal: (1) perspectiva de mercado: segmentos de clientes; (2) perspectiva de producto: propuesta de valor; (3) perspectiva del proceso: recursos clave, tecnología y actividades; y (4) perspectiva de red: socios necesarios. Esta fase brinda como resultado un mapa con múltiples perspectivas desde la estrategia general hacia la visión prevista de la Industria 4.0 que constituye el marco estratégico para acciones concretas (Erol et al., 2016).

La tercera etapa es *promulgar* en la cual se transforman las estrategias planteadas en la fase anterior en proyectos concretos. Se definen objetivos, hitos a cumplir y equipos, para luego evaluar estos proyectos y priorizarlos según la disponibilidad de los recursos, los riesgos inherentes de los mismos y su nivel de impacto en la visión. Esta actividad es realizada por los diversos departamentos responsables y los consultores solo participan para cooperación. Se

pueden incluir proyectos que están actualmente en proceso para alinearlos a la estrategia de Industria 4.0. El resultado final es un mapa concreto de actividades planificadas que pueden ser comunicadas y trasladadas a toda la organización y sus *stakeholders* (Erol et al., 2016).

Como tercera hoja de ruta, Pessl, Sorko y Mayer (2017) parten del problema de que las empresas actualmente presentan diferentes niveles de madurez con respecto a las nuevas tecnologías y procesos que demanda la Industria 4.0 para desarrollar un modelo de procedimiento que permite a las empresas determinar su nivel de madurez individual, identificar y definir sus objetivos y desarrollar un plan de acción para la implementación de estos. En este caso se presentan los resultados para una empresa austriaca y se llega a la conclusión de que los procesos de cambio para la Industria 4.0 siguen un proceso *bottom up* o de abajo hacia arriba, en vez de ser un proceso de cambio indicado únicamente por la administración (Pessl et al., 2017).

Se desarrolla un *roadmap* u hoja de ruta conformada por tres fases principales: análisis, establecimiento de objetivos e implementación; las cuales se subdividen y están conformadas por seis pasos secuenciales: (1) talleres de inicio, (2) análisis del nivel de madurez para la Industria 4.0, (3) definición del estatus actual con respecto a los objetivos, (4) definición y evaluación de las medidas, (5) preparación de la decisión y (6) definición de los proyectos. A través de estos pasos se asegura una identificación sistemática de la madurez de la compañía con respecto a la Industria 4.0, las competencias existentes y se definen objetivos para la implementación de una estrategia (Pessl et al., 2017).

A continuación, se definen los pasos secuenciales (Pessl et al., 2017):

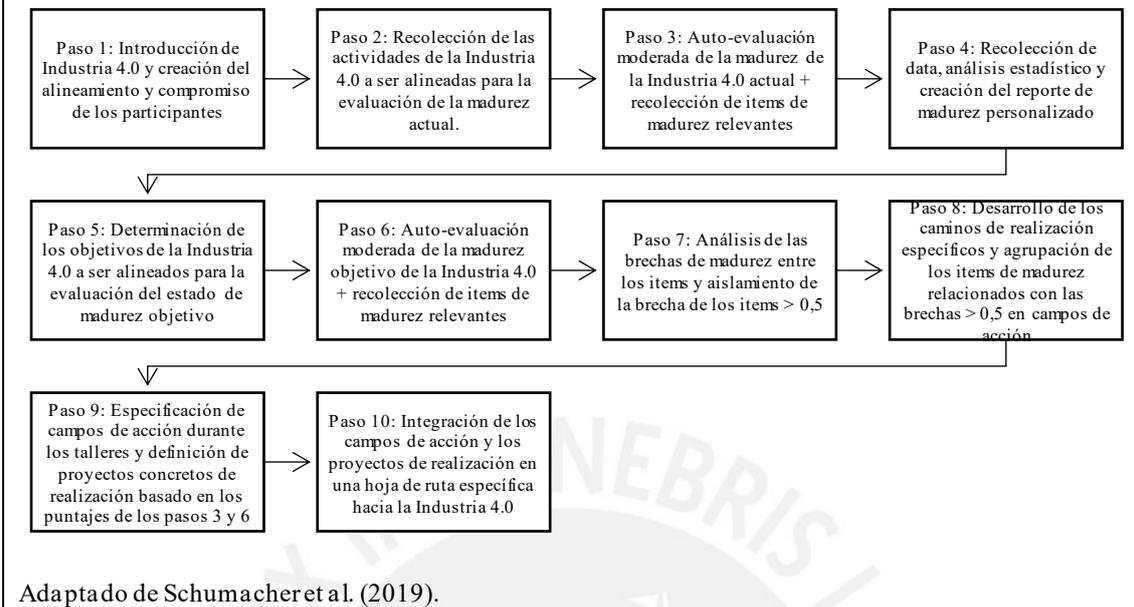
- Talleres de inicio: a través de este se busca crear consciencia para la Industria 4.0 en la empresa y se presentan contenidos, conceptos y tecnologías esenciales de esta revolución, así como un análisis FODA para mostrar el problema de manera más tangible y resaltar los beneficios de la innovación.
- Análisis del nivel de madurez: se determina el estado actual de la empresa en relación con la Industria 4.0 en cada uno de los cinco campos de acción desarrollados: compras, producción, intralogística, ventas y recursos humanos.
- Definición del estado objetivo: para cada uno de los campos mencionados se define un estado objetivo a través del establecimiento de un nivel de madurez como meta. No necesariamente la meta debe ser llegar al nivel 5 en todos los campos ya que depende de la estrategia y características de la empresa.
- Definición y evaluación de medidas: a través de técnicas de creatividad como lluvia de ideas o análisis morfológico se evalúan medidas en los ejes esfuerzo/beneficio con el fin de documentarlas y determinar la diferencia entre el nivel actual y el nivel objetivo.

- Preparación de la decisión: los objetivos y medidas seleccionadas se pasan a un *Balance Scorecard*; además, se complementan con cifras clave definidas y objetivos específicos medibles para realizar una revisión de la implementación.
- Definición de los proyectos: se definen los proyectos concretos de implementación hacia la Industria 4.0 y se conectan con presupuestos. Se aconseja iniciar con proyectos piloto e incorporar las experiencias a la implementación posterior.

Finalmente, como cuarta hoja de ruta para la Industria 4.0, Schumacher et al. (2019) denotan dos enfoques principales por parte de diversos autores para la estructuración de guías estratégicas hacia la Industria 4.0: (1) un enfoque holístico, que busca evaluar y utilizar elementos y factores de éxito de la Industria 4.0; y, (2) un enfoque específico, que apunta a un número limitado de aspectos relevantes en la Industria 4.0 para el diseño de estrategias. Por este motivo, ellos proponen un método de planificación estratégica a partir de un modelo de realización de la Industria 4.0 bajo un enfoque holístico, incluyendo 8 dimensiones de medición y un enfoque específico, estructurando campos de acción según los objetivos y resultados de cada organización.

El resultado de la metodología (Becker, Knackstedt y Pöppelbuß, 2009; De Bruin, Rosemann, Freeze y Kulkarni, 2005; Hevner, March, Park y Ram, 2004) adaptada con los conceptos tecnológicos de Phaal, Farrukh y Probert (2004) y los estratégicos de Chesbrough (2007) es un procedimiento sistemático que ofrece una guía a las empresas desde su primer contacto con la Industria 4.0 hasta la definición de los focos de acción, los proyectos y el *roadmap* estratégico a largo plazo. Cabe resaltar que este procedimiento se enfoca en las empresas industriales de fabricación de productos discretos con creación de valor interno, así como un conocimiento detallado de la administración, producción y logística de la organización (Schumacher et al., 2019). El procedimiento que proponen los autores consta de 10 pasos a seguir como puede observarse en la Figura 1.

**Figura 1: Roadmap para la evaluación de madurez y realización de la Industria 4.0**



En los pasos 1 y 2, un experto facilita diversos talleres donde participaran todas las partes interesadas de la compañía para que se pueda definir una comprensión en común sobre los conceptos de la Industria 4.0, los objetivos de evaluación de la madurez, así como las iniciativas y acciones que la empresa está desarrollando hacia la Industria 4.0. En el paso 3 se debe aplicar el modelo de madurez que toma en cuenta los conceptos y factores críticos de la Industria 4.0 a través de 8 dimensiones (tecnología, productos, clientes y socios, procesos de creación de valor, datos e información, estándares corporativos, empleados; y, estrategia y liderazgo) y que ha sido operacionalizado mediante un cuestionario que mide con una pregunta cada uno de los 65 ítems de madurez. Cada pregunta consiste en la descripción del ítem, un ejemplo del mundo real y 4 niveles de madurez; además, en caso el nivel de madurez del ítem sea de 3 o 4, se requiere incluir un ejemplo de la empresa que lo sustente y existe un espacio para destacar los ítems más relevantes (Schumacher et al., 2019).

En el paso 4 se recolecta todos los datos de la evaluación y se realiza un análisis estadístico donde se analizan la madurez general de las 8 dimensiones, la madurez de los 65 ítems, los puntajes por departamento y niveles de jerarquía; y, las desviaciones de evaluación entre los participantes medidos por desviaciones estándar. Con estos resultados y con la información recolectada de los talleres iniciales se construye el reporte personalizado con recomendaciones de los expertos y con una comparación con otras empresas que hayan realizado el diagnóstico. En el paso siguiente, se realizan un conjunto de talleres con todos los participantes que permiten definir

los objetivos vinculados a la Industria 4.0 que servirán como insumo para establecer una meta de madurez para cada ítem de madurez seleccionado (Schumacher et al., 2019).

Posteriormente, en el paso 7 se analizan las brechas entre el estado actual y el deseado en cada ítem, si la diferencia entre el nivel de madurez objetivo y el nivel de madurez actual es mayor a 0,5 es considerado como un ítem que requiere ser desarrollado (“ítem-para desarrollar”); mientras que, si la diferencia es menor a 0,5 significa que no es necesario una acción inmediata. Después de filtrar los “ítems-para desarrollar”, estos son vinculados a 3 fases hacia la Industria 4.0 (habilitar-implementar-formalizar) para el desarrollo de los lineamientos estratégicos en el paso 8; asimismo, aquellos ítems que cubren temas similares con los lineamientos son agrupados en los campos de acción específicos de la compañía, lo que va moldeando la hoja de ruta hacia la Industria 4.0. El paso siguiente inicia con la priorización de los campos de acción tomando en cuenta el grado de relevancia otorgado en los pasos 3 y 6, lo que permite especificar los proyectos a ser realizado, así como las responsabilidades, tiempos y estimaciones costo-beneficio. Finalmente, en el paso 10 se integran todos los campos de acción, los proyectos y las subactividades en un *roadmap* para la Industria 4.0 (Schumacher et al., 2019).

### **3.2. Modelos de Preparación y Madurez para la Industria 4.0**

Los diversos modelos que permiten medir el nivel de preparación o madurez de las empresas para la implementación de los principios y las tecnologías de la Industria 4.0 se han iniciado a desarrollar en la literatura a partir del año del surgimiento del concepto de la Industria 4.0 en el 2011. En cierta medida, muchos de ellos han sido utilizados por académicos, consultores y empresas por dos razones: por un lado, la presión de las organizaciones por adoptar la Industria 4.0 justo después de su nacimiento oficial en Alemania; y, por otro lado, debido a la ausencia de estudios científicos que investiguen la Industria 4.0 desde una perspectiva estratégica y no tecnológica (Trotta y Garengo, 2019).

El estado de madurez puede ser interpretado como una condición de completo desarrollo de cierta habilidad o alcanzar un éxito específico en algún aspecto de la organización; y, proporciona una guía para corregir o prevenir problemas (Mettler, 2009; Nikkhou, Taghizadeh y Hajiyakhchali, 2016). De la misma forma, Proença y Borbinha (2016) informaron que la madurez se describe como completo, perfecto o listo; y, también se usa para comprender la progresión de una etapa básica a una etapa final más avanzada. Este estado de madurez puede medirse a través de modelos que son definidos como una técnica que permite evaluar los procesos o la organización desde diversas perspectivas (Proença y Borbinha, 2016); además, Nikkhou et al. (2016) describen a los modelos de madurez como una herramienta que puede utilizarse para

explicar cuál de ser la progresión perfecta al cambio deseado por medio de fases o niveles progresivos.

De esta manera, los modelos son herramientas que permiten evaluar a las empresas y organizaciones, así como para guiar la estrategia a fin de alcanzar de forma más estructurada y organizada los objetivos del negocio (Pöppelbuß y Röglinger, 2011). Además, son herramientas que son reconocidas para caracterizar los pasos o las etapas clave en la transformación digital de una empresa (Mittal et al., 2018), que a través de dimensiones o puntos de referencia permiten dirigir esfuerzos de mejora de las empresas (Becker et al., 2009). Estos modelos de madurez o preparación poseen etapas, entendidas como el número de niveles que se necesitan atravesar hasta la implementación completa de la Industria 4.0; y, poseen dimensiones, que representan la cantidad de áreas o factores de la empresa que el modelo está evaluando (Amaral et al., 2019). Se entiende que existe una diferencia entre los modelos de preparación, que buscan capturar el estado en el que una organización está lista para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0; y, los modelos de madurez, que buscan identificar el nivel de evolución que una organización ha logrado con respecto a este proceso específico (Pacchini, Lucato, Facchini y Mummolo, 2019; Schumacher et al., 2016).

Por este motivo, se ha realizado una búsqueda de los modelos más reconocidos de preparación (ver tabla 2) para la implementación de la Industria 4.0 con el fin de seleccionar aquel que tenga mayor vinculación con los objetivos de la investigación; además, se han evaluado los modelos de madurez de manera complementaria para obtener mayor conocimiento sobre qué aspectos se evalúan cuando una organización ya se encuentra implementando la tecnología o los procesos de la Industria 4.0 (ver anexo C). Para esta sección también se tendrá en cuenta los hallazgos de las investigaciones que utilizaron diversos criterios de análisis para identificar cuáles modelos de preparación o madurez tenían mayor vinculación con los requerimientos de las PyMES y qué aspectos podrían mejorarse para resultar ser útiles para este tipo de empresas. Por otro lado, se está teniendo en cuenta a Huang et al. (2019) por sus hallazgos sobre los factores que limitan la implementación de la Industria 4.0 en el Perú.

Con relación a los modelos de madurez, Mittal et al. (2018) resaltan que estos no cumplen con los retos y requerimientos de las PyMES, y que se debería: (1) considerar un nivel inicial “0” que represente los avances digitales hacia la Industria 4.0 distintos a las grandes empresas, (2) el reconocimiento de que la transición de niveles toma mayor tiempo, (3) integrarse una herramienta de auto-evaluación para la PyME; y, (4) una visión personalizada de Industria 4.0 para este tipo de organizaciones. En segundo lugar, Amaral et al. (2019) concluyen que se requiere una gran cantidad de granularidad de los niveles iniciales de madurez, para que se pueda medir

adecuadamente las PyMES porque los modelos de madurez o preparación tienen un enfoque de implementación más no toman en cuenta la fase de acercamiento inicial con el concepto de la Industria 4.0. En tercer lugar, Liborio et al. (2020) recomiendan la inclusión de dimensiones comerciales y/o específicas del negocio para poder identificar todas las implicaciones del cambio hacia la Industria 4.0; además, la necesidad de diseñar planes de acción estratégicos que se apliquen sobre las dimensiones evaluadas y, de esta forma, aumenten sus posibilidades de tener éxito en el alcance de sus objetivos.

**Tabla 2: Modelos de Preparación para la Industria 4.0**

Nombre del Modelo	Fuente	Descripción
IMPULS - Modelo de Preparación	Lichtblau et al. (2015)	6 etapas: extraños, principiantes, intermedios, experimentados, expertos y de alto rendimiento 6 dimensiones: estrategia y organización, fábrica inteligente, operaciones inteligentes, productos inteligentes, servicios basados en datos y empleados.
Índice de Preparación de empresas manufactureras	Jung, Kulvatunyou, Choi y Brundage (2016)	Escala de madurez (0-9): no realizado (0), inicial (1), gestionado (3), definido (5), cualitativo (7), optimizado (9) 4 dimensiones de madurez: organización, tecnologías de información, gestión del desempeño, conectividad de información
Modelo de Preparación y Madurez para la Industria 4.0	Akdil, Ustundag y Cevikcan (2018)	4 niveles: (0) ausencia, (1) existencia, (2) sobrevivió, (3) madurez 3 dimensiones: productos y servicios inteligentes, procesos comerciales inteligentes; y, estrategia y organización
Modelo de Preparación Digital	Geissbauer, Vedso y Schrauf (2016)	4 etapas: (1) principiante digital, (2) integrador vertical, (3) colaborador horizontal, (d) campeón digital 7 dimensiones: modelos comerciales digitales y acceso al cliente; digitalización de productos y servicios; digitalización e integración de cadenas de valor verticales y horizontales; datos y análisis como capacidad central; arquitectura ágil de TI; cumplimiento, seguridad, legal e impuestos; organización, empleados y cultura digital
Modelo de tres etapas en las PyMES hacia la Industria 4.0	Ganzarain y Errasti (2016)	5 niveles: (1) Inicial, (2) Gestionado, (3) Definido, (4) Transformar, (5) Modelo de negocio detallado 3 etapas: (1) visión, (2) habilitar, (3) promulgar
Modelo de Preparación para la Implementación de la Industria 4.0	Pacchini et al. (2019)	6 niveles por puntaje: Embrionario, Inicial, Primario, Intermedio, Avanzado y Listo 6 prerrequisitos por tecnología habilitadora: evaluados en 4 grados de adopción

El modelo de Lichtblau et al. (2015) permite clasificar a las PyMES en seis niveles de la Industria 4.0: los recién llegados compuestos por los forasteros (nivel 0) y principiantes (nivel 1);

los aprendices compuestos por los intermedios (nivel 2); y, los líderes compuestos por los experimentados (nivel 3), expertos (nivel 4) y de alto rendimiento (nivel 5). Este modelo proporciona una herramienta de evaluación en línea donde la PyME puede, a través de un cuestionario, identificar su nivel de preparación para la Industria 4.0 con respecto a 18 ítems que componen las 6 dimensiones de un entorno de la Industria 4.0: (1) estrategia organizacional, (2) fábrica inteligente, (3) operaciones inteligentes, (4) productos inteligentes, (5) servicios basados en data, y (6) empleados.

En la revisión de este modelo, Mittal et al. (2018) menciona que se considera la integración horizontal con los proveedores y clientes como base técnica que apoya en la adaptación de las PyMES a la Industria 4.0. A pesar de ello, hay ciertas dimensiones que incluyen tecnologías de manufactura avanzada, digitalización, productos inteligentes, capacitación de los empleados, estrategias y una cultura alineada con la Industria 4.0; lo que podría generar una baja puntuación porque ciertas de estas características son muy avanzadas para las PyMES. Además, teniendo en cuenta los hallazgos de Huang et al. (2019), se confirma que las dimensiones de tecnología avanzada y colaboradores calificados podrían verse afectados porque resultan ser factores que representan limitaciones para las PyMES peruanas.

Sin embargo, cabe resaltar que si posee características que son favorables para el uso en las PyMES: (1) la explicación clara de la metodología que permitió el diseño del modelo, donde se incluyeron en mayor medida a PyMES; (2) la posibilidad de contar con una herramienta de evaluación de fácil acceso vinculado a cada uno de los ítems del modelo, que permite brindar un lineamiento base claro para el diseño de una estrategia con visión hacia la Industria 4.0; (3), incluir un nivel de recién llegados (nivel 0 y 1), lo que otorga la posibilidad de ser usada por empresas que no hayan iniciado la transformación; y, finalmente, (4) la explicación detallada de cuáles deberían ser las acciones clave para poder alcanzar un nivel superior de preparación. Estos elementos podrían suplir los factores de visión de gestión e inversión financiera porque otorgan mayor claridad hacia el rumbo que deben tomar las PyMES para mejorar su estrategia de cara a la Industria 4.0.

Jung, Kulvatunyou, Choi y Brundage (2016) desarrollaron un modelo en su artículo “Una mirada general de una evaluación para la preparación de un sistema de fábrica inteligente”. Su estudio tiene como objetivo determinar el nivel de preparación de una empresa para implementar tecnologías inteligentes; además de brindar un plan de mejora personalizado. Para ello, basados en el modelo de Diseño y Mejora de Fábrica junto con análisis correlativos, el estudio se divide en tres etapas: (a) recolección de información sobre las actividades de la empresa; (b) comparación del perfil con un referente y (c) el desarrollo del plan de mejora. Asimismo, cabe

mencionar que en la primera etapa se aplica un cuestionario que evalúa el nivel de preparación de la empresa en base a 4 dimensiones: (1) madurez organizacional, (2) madurez de información tecnológica, (3) madurez de desempeño de la gestión y (4) madurez de la conectividad de información (Jung et al., 2016).

Según Mittal et al. (2018), este modelo está orientado a medir la preparación de las grandes empresas y no contempla los requerimientos específicos de las PyMES. Las dimensiones que plantea el estudio incluyen el desarrollo de tecnologías avanzadas y estrategias de conectividad que no necesariamente las PyMES se encuentran en la capacidad de desarrollar. Además, es posible que las PyMES no puedan evaluar su sistema de producción real, dado que carecen de experiencia y expertos en automatización que den soporte al proceso de evaluación. Estas limitaciones del modelo también pueden replicarse en el contexto peruano ya que las PyMES del país presentan restricciones en cuanto al acceso de tecnologías avanzadas, disponibilidad de personal calificado y una visión de gestión enfocada en innovación (Huang et al., 2019). Por ello, el modelo de preparación en análisis no resultaría ser el apropiado.

Akdil, Ustundag y Cevikcan (2018) proponen un modelo de madurez hacia la Industria 4.0 llamado Modelo de Madurez y Preparación para una Estrategia en la Industria 4.0. El estudio tiene como objetivo desarrollar el modelo de madurez y aplicarlo para medir el nivel de preparación del sector minorista de Turquía. A partir de una evaluación de los modelos desarrollados hasta esa fecha, sus dimensiones y una comparación de sus componentes, se desarrolla un modelo que brinda tres niveles de madurez basado en tres grandes dimensiones y trece campos asociados a él: (1) productos y servicios inteligentes; (2) procesos de negocio inteligentes, basados en la logística, la producción, adquisición de bienes, desarrollo de productos, investigación, servicio postventa, promoción, establecimiento de precios, canales de distribución, recursos humanos, tecnologías de la información y finanzas inteligentes; y (3) estrategia y organización, referido al modelo de negocio de la empresa, alianzas estratégicas, inversiones en tecnología y liderazgo y cultura organizacional (Akdil et al., 2018).

Este modelo, sin embargo, se encuentra orientado hacia las empresas multinacionales, por lo que no presenta o propone un camino hacia la madurez para la Industria 4.0, solo proporciona un índice. Asimismo, si bien se preocupa por la cultura organizacional de las empresas que aún no la desarrollan y la resalta como el primer paso para el proceso de desarrollo de una estrategia a la Industria 4.0; su principal dimensión se basa en el desarrollo de procesos de negocio inteligentes, un paso que las PyMES aún no han tomado dentro de su organización (Mittal et al., 2018). Cabe resaltar que, dentro del contexto peruano, las PyMES presentan una situación carente de productividad, motivo por el cual no se encuentran en la capacidad de desarrollar procesos

inteligentes ya que esto requiere de la adquisición de tecnologías innovadoras y personal calificado (Huang et al., 2019). Por lo cual, este modelo de preparación no sería el apropiado dado que solo les brinda un índice sin una recomendación para estas limitaciones.

Ganzarain y Errasti (2016) buscan definir un modelo basado en etapas que permita guiar y entrenar a las PyMES en la identificación de nuevas oportunidades ligadas a la diversificación con la Industria 4.0; además, a través de este modelo de madurez, busca que las empresas puedan definir una visión a medida hacia la Industria 4.0 con una ruta específica para alcanzarla. Estos autores tomaron en consideración los retos vinculados a la Industria 4.0, la metodología de diversificación, la guía estratégica por etapas de Erol et al. (2016), y 5 niveles de madurez (Inicial, Gestionado, Definido, Transformar y Modelo de Negocio detallado) para desarrollar su modelo. Las etapas del modelo consideraban: en primer lugar, la PyME desarrolla su propia visión de la Industria 4.0 con un análisis de sus recursos y capacidades; en segundo lugar, la PyME intenta definir el portafolio de tecnologías y capacidades necesarias para alcanzar los nuevos productos/servicios identificados; finalmente, los proyectos o acciones se promueven, lo que resulta en el diseño de políticas de gestión de riesgos y las capacitaciones para los trabajadores de la PyME (Ganzarain y Errasti, 2016)

Según Mittal et al. (2018), este modelo si reconoce la elaboración de una visión específica para las PyMES; por lo que, toma en cuenta la situación financiera, la tecnología que poseen y las habilidades de los empleados. No obstante, la evaluación no tiene instrucciones claras que permitan realizarla sin el soporte de consultores externos ni la existencia de un cuestionario de autoevaluación para medir la situación actual, puntos que no podrán ser desarrollados por la falta de recursos financieros. Por otro lado, Huang et al. (2019) resalta como barrera de las PyMES en el Perú la falta de una visión de gestión por parte de los gerentes de estas empresas, por lo que, resultaría muy complicado poder utilizar un modelo que parte en desarrollar por sí mismos una visión definida que apunte hacia la Industria 4.0; además, este modelo propone un gran desarrollo de las capacidades de los trabajadores para poder implementar el portafolio de proyectos, pero otra barrera mencionada por Huang et al. (2019) resulta justamente la falta de trabajadores calificados para la Industria 4.0.

Geissbauer, Vedso y Schrauf (2016) proponen unos pasos clave para el éxito en la transformación 4.0: establecer la estrategia para la Industria 4.0, crear proyectos piloto iniciales, definir las capacidades que requerirán, enfocarse en el análisis de los datos, transformarse en una empresa digital y planificar activamente un enfoque ecosistémico. Como parte del primer paso, brindan un modelo para evaluar el nivel de madurez en todas las áreas de la Industria 4.0 compuesto por 4 etapas: (a) principiante digital, (b) integrador vertical, (c) colaborador horizontal,

y (d) campeón digital; y, por siete dimensiones: (1) modelos comerciales digitales y acceso al cliente; (2) digitalización de productos y servicios; (3) digitalización e integración de cadenas de valor verticales y horizontales; (4) datos y análisis como capacidad central; (5) arquitectura ágil de TI; (6) Cumplimiento, seguridad, legal e impuestos; y, (7) organización, empleados y cultura digital. Estos autores realizan una intersección entre cada etapa con cada dimensión, estableciendo cómo debería encontrarse la empresa para finalmente alcanzar las características de una empresa en la Industria 4.0.

Retomando el análisis de Mittal et al. (2018), el modelo asume la presencia de una integración digital de las cadenas de suministros con la posibilidad de una actualización en tiempo real del producto con los actores de la cadena; lo que, en cierta manera, resulta imposible ser implementado por las PyMES debido a la falta de inversión financiera y a la alta dependencia que ya tienen con sus proveedores actuales, los cuales no cuentan con la tecnología requerida para este nivel de digitalización. Además, según los resultados de Huang et al. (2019) se puede denotar que este modelo resultaría muy complicado seguirse completamente porque existe una gran limitación en la oferta de trabajadores con habilidades para la Industria 4.0, gerentes calificados para manejar la integración digital de la cadena de suministros y apoyo del gobierno en los temas legales que permitirían progresar esta transformación en el Perú; por lo que, no se podría alcanzar el cumplimiento de las dimensiones 3, 4, 5, 6 y 7 del modelo.

En línea con lo expuesto anteriormente, se adoptó un modelo de medición que contenga mayor relación con los factores clave de preparación para el proceso de implementación de la Industria 4.0. El modelo elegido para determinar el nivel de preparación para la adopción de tecnología 4.0 es el “Modelo de Preparación” (*Readiness Model*). El cual fue desarrollado en 2015 por la Fundación IMPULS de la Federación Alemana de Ingeniería (VDMA) y realizado por IW Consult (una subsidiaria del Instituto de Investigación Económica de Colonia) y el Instituto de Gestión Industrial (FIR) en la Universidad RWTH Aachen. Este modelo fue desarrollado con el fin de medir el estado actual de preparación de la industria de ingeniería mecánica y el sector de ingeniería de planta en Alemania (Lichtblau et al., 2015).

Se debe resaltar los motivos por los cuales este modelo fue seleccionado para realizar la evaluación del sujeto de estudio. En primer lugar, según Chonsawat y Sopadang (2019), este modelo es un referente claro para identificar y vincular los factores clave para que una empresa esté preparada para implementar la Industria 4.0. Asimismo, Azevedo y Santiago (2019) mencionan que ofrece un buen punto de partida para ser utilizado en el proceso de evaluación, medir los logros actuales y establecer objetivos específicos para una estrategia. Por otro lado, autores como Schumacher et al. (2016) y Almamalik (2020) destacan que el modelo de Lichtblau

et al. (2015) se basa en un conjunto de datos bastante completo y se ofrecen detalles sobre dimensiones, elementos y el enfoque de evaluación. Además, señalan que el modelo está científicamente fundamentado, explicando de manera transparente su estructura y resultados. Finalmente, Wiesner, Gaiardelli, Gritti y Oberti (2018) evaluaron su aplicabilidad en las PyMES e identificaron que el modelo de Lichtblau et al. (2015) requiere poco tiempo y recursos al poder ejecutarse a través de una herramienta en línea; y, no requiere un conocimiento medio de digitalización para quién responda el cuestionario sobre la actual situación de la PyME.

En su revisión de los modelos de preparación existentes, Amaral et. al (2019) señalan que el modelo de seleccionado para esta tesis es uno de los más utilizados en la literatura según su estudio. Asimismo, afirman que es uno de los únicos dos modelos existentes que reconoce la necesidad de aumentar su granularidad ante los posibles resultados de una PyME; ya que, a diferencia de otros modelos de preparación, tiene en consideración aquellas empresas que están completamente inconscientes de la Industria 4.0, lo que permite incluir dentro de su análisis a las PyMES, dado que la mayoría de estas se encuentran aún lejos de los requerimientos necesarios para la implementación de la Industria 4.0 (Amaral et al., 2019).

Por añadidura, Liborio et al. (2020) realizan un análisis de los modelos presentes en la literatura y afirman que el modelo de Lichtblau et al. (2015) presenta como “totalmente logrado” los siguientes criterios: (1) alcance del modelo, al considerar el objetivo comercial de digitalización de productos, es uno de los únicos dos modelos en considerar esta dimensión; (2) nivel de madurez, al contar con más de 5 niveles representa mejor el detalle del camino de maduración y (3) metodología de evaluación, al contar dentro del modelo con procedimientos que guían a los usuarios a través de los pasos de evaluación (Liborio et al., 2020).

Con la aplicación del Modelo de Preparación a una empresa, se definen criterios a través de los cuales se las puede clasificar en tres tipos: Recién Llegadas, Aprendices o Líderes. Para llegar a esta clasificación, el modelo se basa en las siguientes seis dimensiones clave de la Industria 4.0: (1) Estrategia y Organización, (2) Fábrica Inteligente, (3) Operaciones Inteligentes, (4) Productos Inteligentes, (5) Servicios Basados en Datos y (6) Empleados. Las dimensiones de Fábrica Inteligente y Productos Inteligentes se encuentran relacionadas al mundo físico, las dimensiones de Operaciones Inteligentes y Servicios Basados en Datos representan la representación virtual de las dimensiones físicas, y las dimensiones de Estrategia y Organización y Empleados son dimensiones aplicables de manera universal (Lichtblau et al., 2015).

### **3.3. Metodología de desarrollo del “Modelo de Preparación” de Lichtblau**

El estudio para el desarrollo del Modelo de Preparación se realizó utilizando una metodología mixta que incluye revisión de literatura, experiencia, talleres y una encuesta integral a un grupo de empresas. El primer paso para la creación del modelo fue la identificación de los seis indicadores relevantes para la Industria 4.0 mencionados con anterioridad. Este proceso empezó con la exploración a fondo de literatura y luego se realizó un taller con empresas líderes selectas del sector de ingeniería mecánica de Alemania dado que esta industria ya tenía experiencia utilizando tecnología 4.0. En este taller, diversos expertos trabajaron con socios del proyecto (IW Consult y FIR) para sistemáticamente identificar y evaluar indicadores relacionados al éxito en la aplicación de tecnología 4.0 (Lichtblau et al., 2015).

El segundo paso fue diseñar y definir los niveles de preparación para la Industria 4.0. Esta definición se realizó sobre la base de los resultados del taller, el análisis de la literatura y la experiencia de los socios del proyecto. Es así como se definieron seis niveles de preparación: (1) Forastero, (2) Principiante, (3) Intermedio, (4) Experimentado, (5) Experto y (6) De Alto Rendimiento. De los cuales, Forastero y Principiante corresponden al tipo de empresas Recién Llegadas; Intermedio y Experimentado corresponden al tipo de clasificación de Aprendices; Experimentado, Experto y De Alto Rendimiento corresponden al tipo de clasificación de Líderes (Lichtblau et al., 2015).

El tercer paso fue el desarrollo de un cuestionario sobre la base de los requisitos desarrollados anteriormente con el fin de explorar los siguientes aspectos: atributos estructurales de las empresas, conocimientos generales sobre la Industria 4.0, grado en que las empresas satisfacen las dimensiones de la Industria 4.0 y motivadores y obstáculos en el camino hacia su adaptación. Este cuestionario presenta dos partes importantes: la primera parte consta de preguntas para recabar información acerca de la estructura de las empresas y la segunda parte contiene preguntas generales sobre la Industria 4.0 como la medida en que la empresa se encuentra involucrada y una autoevaluación del estado de su implementación (Lichtblau et al., 2015).

### **3.4. Descripción del “Modelo de Preparación” de Lichtblau**

Como se describió anteriormente, el Modelo de Preparación desarrolla un modelo de seis niveles: (1) Forastero, (2) Principiante, (3) Intermedio, (4) Experimentado, (5) Experto y (6) De Alto Rendimiento, los cuales poseen requisitos mínimos que la empresa debe cumplir para completar cada nivel. Para llegar a estos niveles, el modelo se basa en las cuatro grandes dimensiones de la Industria 4.0 y en dos dimensiones adicionales universalmente aplicables que fueron producto del taller realizado: (1) Estrategia y Organización, (2) Fábrica Inteligente, (3) Operaciones Inteligentes, (4) Productos Inteligentes, (5) Servicios Basados en Datos y (6)

Empleados (ver figura 1). Cada una de estas seis dimensiones se encuentran delineadas en dieciocho campos, los cuales a su vez están compuestos por indicadores que forman la base para medir el nivel de preparación para la Industria 4.0 (Jussen, Kuntz, Senderek y Moser, 2019; Lichtblau et al., 2015).

**Figura 2: Dimensiones del modelo de preparación para la Industria 4.0**



Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

### 3.4.1. Niveles de preparación

Los niveles de preparación se presentan de un modo secuencial, en los cuales desde el Nivel 0 hasta el Nivel 5 se van presentando requisitos que deberían de cumplir las organizaciones para salir de un nivel bajo y formar parte del siguiente. Estos niveles se determinan con base a los resultados obtenidos en cada una de las dimensiones como se muestra en la figura 2.

Una empresa se encuentra en el Nivel 0 o Forastero si no cumple con ninguno de los requisitos para la adopción de tecnología de la Industria 4.0. Este nivel se asigna de manera automática a aquellas empresas que indicaron en el cuestionario que la Industria 4.0 era un tema desconocido o irrelevante para ellos (Lichtblau et al., 2015).

En cuanto al Nivel 1 o Principiante, las empresas de este nivel participan en la Industria 4.0 a través de iniciativas piloto en varios de sus departamentos y a través de inversiones en alguna de sus áreas. En cuanto a sus procesos de producción, solo algunos de ellos son soportados por

sistemas informáticos y los equipos e infraestructura existentes solo satisfacen parcialmente los requisitos de integración y comunicaciones básicos necesarios a futuro. El sistema de información integrada compartida se limita a unas pocas áreas, las soluciones de seguridad de TI todavía están en fase de planificación o implementación y sus productos están en los primeros pasos hacia funcionalidades complementarias basadas en TI. En conclusión, el Principiante cuenta con las habilidades necesarias para expandirse hacia la Industria 4.0 pero estas se encuentran solo en algunas áreas de la empresa (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa de Nivel 2 o Intermedio incorpora a la Industria 4.0 en su orientación estratégica, es decir, desarrolla un plan para implementarla y los indicadores apropiados para medir el estado de implementación. Realiza inversiones relevantes en más de un área y algunos datos de producción se recopilan automáticamente para ser utilizados en un grado limitado; sin embargo, la infraestructura no satisface todos los requisitos para una futura expansión. El intercambio de información está integrado en un sistema hasta cierto punto, y ha realizado los primeros pasos para integrar este intercambio de información con sus socios comerciales. Las soluciones de seguridad de TI son apropiadas y se encuentran en expansión. Desarrolla productos con las primeras funcionalidades complementarias basadas en TI y sus empleados poseen las habilidades necesarias para expandirse hacia la Industria 4.0 (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa de Nivel 3 o Experimentada ha formulado una estrategia de Industria 4.0, realiza inversiones en múltiples áreas y promueve la introducción de la Industria 4.0 en cada departamento a través de la gestión de la innovación. Sus sistemas informáticos en producción están vinculados a través de interfaces y sirven de soporte para los procesos de productivos con datos de áreas clave recopilados automáticamente. La infraestructura se puede actualizar para futuras expansiones; y, el intercambio interno y externo de información entre empresas se encuentra parcialmente integrado en el sistema. Las soluciones de seguridad de TI necesarias se encuentran implementadas y existen soluciones basadas en la nube para lograr una mayor expansión. Desarrolla productos con varias funcionalidades complementarias interconectadas basadas en TI, los cuales forman la base para la prestación de servicios basados en datos, pero la compañía aún no está integrada con sus clientes. Asimismo, se han realizado grandes esfuerzos para ampliar los conjuntos de habilidades requeridas en sus empleados (Lichtblau et al., 2015).

En cuanto al Nivel 4 o Experto, esta empresa ya está utilizando una estrategia de Industria 4.0 y la monitorea con los indicadores apropiados. Realiza inversiones en casi todas las áreas relevantes y el proceso es apoyado por una gestión de la innovación interdepartamental. Los sistemas de TI son compatibles con la mayoría de los procesos de producción y recopilan grandes cantidades de datos que se utilizan para su optimización. La expansión adicional es posible ya

que la infraestructura satisface futuros requisitos de integración y la información se comparte tanto internamente como con los socios comerciales. Las soluciones de seguridad se utilizan en áreas relevantes, y las TI son escalables a través de soluciones basadas en la nube. Las piezas de trabajo y los productos terminados cuentan con funcionalidades complementarias basadas en TI que permiten la recopilación de datos y la realización de análisis específicos durante la fase de utilización. Esto a su vez apoya a los servicios basados en datos, los cuales ya son utilizados por los clientes y representan un porcentaje pequeño de los ingresos; asimismo, se evidencia una integración directa entre el cliente y el productor. En la mayoría de las áreas relevantes, los empleados tienen las habilidades necesarias para desarrollarse en un entorno 4.0 y para ampliarse aún más hacia esta industria (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa de Nivel 5 o De Alto Rendimiento ya ha implementado su estrategia de Industria 4.0 y regularmente supervisa el estado de implementación de otros proyectos, apoyado por inversiones y gestión de la innovación presentes en toda la empresa. Cuenta con un sistema informático integral que soporte su producción y automáticamente recopile data relevante. La infraestructura cumple todos los requisitos para la integración y cuenta con un sistema integrado de intercambio de información tanto a nivel interno como externo. Su sistema de TI es seguro y flexible, y se han implementado soluciones basadas en la nube. Algunas áreas de producción ya se desarrollan de forma autónoma con piezas de trabajo guiadas automáticamente y procesos de reacción. Estas, junto con los productos, cuentan con amplias funcionalidades complementarias basadas en TI, y los datos recopilados en la fase de uso se utilizan para el desarrollo de productos, el mantenimiento remoto y el soporte de ventas. Los servicios basados en datos representan una parte importante de los ingresos y existe una integración productor-cliente. Asimismo, tiene la experiencia interna necesaria en todas sus áreas críticas (Lichtblau et al., 2015).

Los seis niveles de preparación mencionados se agrupan en tres tipos de empresas, lo que hace posible resumir mejor los resultados como se muestra en la figura 3. Esta agrupación también hace que sea más fácil llegar a conclusiones sobre el progreso y condiciones relacionadas con la Industria 4.0 e identificar elementos de acción específicos basados en su nivel de implementación: (1) Recién Llegadas, aquellas empresas que han hecho nada o muy poco para lidiar con la Industria 4.0 y, por lo tanto, están asignados en los niveles 0 o 1 del modelo; (2) Aprendices, aquellas empresas que están en el nivel 2 y, por lo tanto, ya han dado sus primeros pasos en la implementación de la Industria 4.0; y, (3) Líderes, aquellas empresas que han alcanzado al menos el nivel 3, se encuentran implementando de manera positiva la Industria 4.0 y están muy por delante de la mayoría de las empresas de su sector. Asimismo, representan el grupo de referencia para las demás organizaciones (Lichtblau et al., 2015).

**Figura 3: Niveles de preparación del modelo para la Industria 4.0**



Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

### **3.4.2. Dimensiones**

#### *a. Estrategia y Organización*

Industria 4.0 es más que solo mejorar productos o procesos existentes a través del uso de tecnologías digitales; en realidad ofrece la oportunidad de desarrollar modelos de negocios completamente nuevos. Por esta razón, su implementación es de gran importancia estratégica (Lichtblau et al., 2015). La implementación de una estrategia de gestión de procesos para la Industria 4.0 puede conducir hacia un mayor grado de autonomía, el enriquecimiento de las funciones, nuevas organizaciones y una mayor flexibilidad que permita el desarrollo de habilidades individuales y cree oportunidades para un mejor equilibrio entre el trabajo y la vida de sus empleados (Fettig et al., 2018).

Asimismo, el desarrollo e implementación de la estrategia corporativa y organizacional correcta, impacta positivamente en los resultados para lograr un modelo de gestión de procesos eficiente para la implementación de Industria 4.0 dentro de una organización (Nwaiwu et al., 2020). El Modelo de Preparación evalúa esta dimensión a través de la medición de los siguientes cuatro criterios: (1) el estado de implementación de la estrategia de Industria 4.0, (2) la operacionalización y revisión de la estrategia a través de un sistema de indicadores, (3) las actividades de inversión relacionadas con la implementación de Industria 4.0 y (4) el uso de tecnología e innovación dentro de la administración de la empresa (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa en el Nivel 0 no conoce ni toma en cuenta una estrategia para la aplicación de Industria 4.0; en el Nivel 1 presenta iniciativas piloto en algunos departamentos e inversiones iniciales relacionadas a la Industria 4.0; en el Nivel 2 presenta una estrategia de Industria 4.0 desarrollada y un sistema de indicadores definidos, así como inversiones para este fin, pero de bajo nivel; en el Nivel 3 cuenta con una estrategia de Industria 4.0 formulada, inversiones para la Industria 4.0 en algunas áreas y un plan de gestión de la innovación en zonas aisladas; en el Nivel

4 cuenta con una estrategia en plena implementación y la revisa esporádicamente, invierte para este fin en múltiples áreas y su gestión de la innovación está presente en muchos departamentos; finalmente, en el Nivel 5 también cuenta con una estrategia de Industria 4.0 implementada, la revisa de manera regular, invierte en toda la empresa y su gestión de la innovación es transversal (Lichtblau et al., 2015).

#### *b. Fábrica Inteligente*

El concepto de fábrica inteligente para la Industria 4.0, implica una fábrica interconectada en la que los sistemas de producción se comunican directamente con los sistemas informáticos superpuestos (sistemas de MES, ERP o SCM) y con los productos inteligentes (Lichtblau et al., 2015). Una fábrica inteligente logra el máximo nivel de digitalización de la cadena de valor a través de la integración y autorregulación de todos los procesos, especialmente aquellos relacionados a la producción. Una fábrica inteligente implica la interacción sincronizada de los sistemas de producción, de los sistemas de información y de las personas, tanto clientes como empleados, así como una cadena de suministro dinámica que pueda cambiar según los requerimientos de los consumidores (Lichtblau et al., 2015; Sony y Naik, 2019).

Debido a las características y funcionalidades de las fábricas inteligentes, estas requieren contar con sensores integrales tecnológicos en su maquinaria y sistemas en puntos estratégicos de recolección de datos. De esta manera se requieren potentes sistemas informáticos con el objetivo de capturar todo el proceso relevante y datos relacionados a las transacciones en tiempo real. Es así como el Modelo de Preparación se basa en los siguientes cuatro criterios para determinar el progreso de la organización dentro de este ámbito: el modelado digital, la infraestructura de los equipamientos, el nivel de utilización de los datos y los sistemas informáticos y de tecnología (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa en el Nivel 0 no conoce ni cuenta con una fábrica inteligente; en el Nivel 1 cuenta con una infraestructura que satisface algunos de los requisitos y su proceso empresarial principal está respaldado por un sistema IT; en el Nivel 2 cuenta con funcionalidades futuras parcialmente satisfechas y actualizables hasta cierto límite, recolección de datos manual y respaldo del sistema IT para algunas áreas; en el Nivel 3 cuenta con las mismas funcionalidades pero estas son totalmente actualizables, los datos se recopilan de manera digital y los sistemas de TI se vinculan a través de interfaces; en el Nivel 4 posee una infraestructura que satisface completamente los requisitos de la Industria 4.0, se colecta la mayor cantidad de datos, se utiliza alguna y los soportes de TI están integrados en el sistema; y en el Nivel 5 cuenta con una infraestructura que satisface las necesidades futuras, recopila y utiliza todos los datos posibles y cuenta con un soporte integral de los sistemas de TI para sus procesos (Lichtblau et al., 2015).

### *c. Operaciones Inteligentes*

La adaptación hacia la Industria 4.0 sugiere la digitalización de todas las operaciones a lo largo de la cadena de suministro, así como la integración de sistemas físicos con mundos cibernéticos. La digitalización e integración de los sistemas cibernéticos y físicos en toda la cadena de suministro, la adquisición de una gran cantidad de datos y la interpretación y control de estos datos, hacen posible que todos los elementos de la cadena de suministro pueden beneficiarse inmensamente (Tan et al., 2016). Los sistemas de piezas de trabajo guiados de forma autónoma deben implementarse en toda la cadena de suministro y esto solo es posible mediante el uso de la logística inteligente, el cual constituye un factor de éxito para la Industria 4.0 (Sony y Naik, 2019).

La integración de todos los componentes y sistemas dentro de la fábrica es un componente esencial para el desarrollo de la Industria 4.0, así como la integración horizontal y vertical extendida de la cadena de valor. Estos requisitos resultan en una red de planificación y control entre empresas que se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida del producto con un enfoque que se adapta a las necesidades del cliente; esto sumado a la adopción e implementación de tecnologías digitales conduce a una implementación exitosa de los modelos de gestión de procesos orientados a la Industria 4.0 (Lichtblau et al., 2015; Nwaiwu et al., 2020). El Modelo de Preparación determina el nivel de inteligencia de las operaciones basándose en los siguientes cuatro criterios: intercambio de información, utilización de la nube, seguridad informática y procesos autónomos (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa en el Nivel 0 no conoce ni realiza operaciones inteligentes; en el Nivel 1 ha dado los primeros pasos hacia el intercambio de información interna integrada dentro de un sistema y ha planificado soluciones iniciales de seguridad de TI; en el Nivel 2 intercambia información interna de manera parcial y tiene múltiples soluciones de seguridad de TI planificadas o en desarrollo; en el Nivel 3 cuenta con una parte de la información intercambiada integrada en su sistema, ha implementado parcialmente soluciones de seguridad de TI y soluciones iniciales para softwares basados en la nube, almacenamiento y análisis de datos; en el Nivel 4 intercambia información de manera integrada en el sistema, cuenta con pruebas de control autónomas y procesos reactivos automáticos y una seguridad de TI de gran alcance con soluciones en la nube; y en el Nivel 5 posee un sistema completo integrado de intercambio de información, procesos de control autónomo y reacción implementados y soluciones integrales de seguridad de TI y en la nube (Lichtblau et al., 2015).

#### *d. Productos Inteligentes*

Muchas características de la fábrica inteligente y los potenciales beneficios de los servicios basados en datos dependen de la disponibilidad de información sobre un producto en particular. La fábrica inteligente necesita saber qué producto se encuentra en qué lugar de producción para comunicar el estado del pedido en tiempo real. Los fabricantes de equipos necesitan amplia información sobre cuánto tiempo y cómo se usa intensamente un equipo para ofrecer a los clientes un plan de mantenimiento predictivo basado en su uso real. Estos escenarios requieren el uso de productos inteligentes y objetos físicos equipados con TIC. Esto los hace identificable de manera única, para que puedan interactuar con su entorno, registre su entorno y estado a través de sensores y ofrece varios complementos funcionalidades en funcionamiento (Lichtblau et al., 2015).

Es claro entonces, que tanto los servicios como los productos, son dos componentes importantes para el éxito dentro de la Industria 4.0. En un entorno 4.0, los productos se ensamblan a partir de piezas de trabajo inteligentes, modulares y compatibles; las cuales están equipadas con sensores RFID, interfaces de comunicación, GPS y otras facilidades tecnológicas necesarias para recopilar datos del entorno y de su propio estatus de producción (Axelsson, Froberg y Eriksson, 2018; Flores-Saldivar et al., 2015). Estos datos se procesan en los sistemas cibernéticos para guiar el camino del sistema de producción; de este modo, este sistema puede guiar todas las funciones del proceso de producción de manera autónoma en tiempo real y sin necesidad de interacción humana (Flores-Saldivar et al., 2015). El Modelo de Preparación determina el nivel de inteligencia de los productos basándose en los siguientes dos criterios: análisis de los datos en la fase de uso y las funcionalidades complementarias de TI en los productos (Lichtblau et al., 2015).

En lo que respecta al Modelo de Preparación, una empresa en Nivel 0 no posee productos con los requerimientos de la Industria 4.0; en el Nivel 1 tiene productos que poseen los primeros signos de funcionalidades adicionales; en el Nivel 2 cuenta con productos que tienen funcionalidades adicionales básicas y recopilan data, pero no la utilizan ni analizan; en el Nivel 3 desarrolla productos que tienen múltiples funcionalidades complementarias interconectadas y algunos de los datos recopilados son utilizados para análisis; en el Nivel 4 cuenta con productos con funcionalidades adicionales en diferentes áreas y se dirigen los datos recopilados para ciertas funciones; y en el Nivel 5 desarrolla productos con funcionalidades complementarias integrales y los datos recopilados se utilizan de manera integral (Lichtblau et al., 2015).

#### *e. Servicios Basados en Datos*

Otro sello distintivo de la Industria 4.0 es el replanteamiento de los modelos de negocio existentes, enfocándose en mejorar el beneficio para los clientes. Las organizaciones tienen la

oportunidad de digitalizar negocios convencionales, modelar y desarrollar nuevos negocios cuyo valor agregado se deriva de la recopilación y el análisis de datos (Lichtblau et al., 2015). Los servicios basados en datos desempeñan un papel importante en modelos comerciales innovadores de empresas de fabricación exitosas: tienen un gran potencial para la creación de puntos de venta únicos y mejoran la diferenciación de las empresas de fabricación en mercados altamente competitivos. Actualmente, las empresas luchan con la invención e implementación de soluciones de servicio basadas en datos (Kampker, Husmann, Harland, Jussen y Steinbauer, 2018).

La tendencia en los últimos años es que los fabricantes vayan más allá de la simple venta de un producto, sino que proporcionen paquetes híbridos de servicios, combinando productos y servicios de mayor valor agregado para el cliente. Lichtblau et al. (2015) expone como ejemplo el hecho de acoplar a la venta de una máquina un contrato de mantenimiento que incluya un compromiso definido contractualmente de disponibilidad del sistema. Esto a su vez está vinculado a un análisis de los datos del equipo recopilados para habilitar el mantenimiento predictivo. El nivel de preparación en esta dimensión se determina a partir de los siguientes tres criterios: la disponibilidad de servicios basados en datos, la participación de los ingresos derivados de servicios basados en datos y la cantidad de datos utilizados (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa en el Nivel 0 no conoce ni cuenta con servicios basados en datos; en el Nivel 1 sí cuenta con ellos, pero sin integración del cliente y sus ingresos por estos servicios representan menos del 1%; en el Nivel 2 también cuenta con estos servicios pero tampoco se encuentra integrado con sus clientes, sus ingresos por los mismos representan menos del 2.5% del total y el porcentaje de datos utilizados es menor al 20% de los recopilados; en el Nivel 3 tampoco se encuentra integrado con clientes, los ingresos generados por estos servicios representan hasta el 7.5% del total y el grado de utilización de datos es del 20% al 50%; en el Nivel 4 los servicios basados en datos se dan a través de la integración con el cliente, los ingresos relacionados a ellos llegan hasta el 10% y el porcentaje de utilización de datos está entre el 10% y el 50%; y en el Nivel 5 igualmente se encuentra integrado con los clientes, los ingresos generados por estos servicios representan más del 10% y la tasa de utilización de datos supera el 50% (Lichtblau et al., 2015).

#### *f. Empleados*

Los trabajadores son uno de los grupos más afectados al implementar una estrategia de Industria 4.0; su ambiente de trabajo es alterado de forma directa, requiriéndoles adquirir nuevas habilidades. Esto hace que sea cada vez más crítico que las empresas preparen a sus empleados para estos cambios a través de una formación adecuada y continua (Lichtblau et al., 2015). El papel del capital humano con el que cuenta una empresa para ayudarla a alcanzar sus objetivos

corporativos y organizacionales, especialmente los relacionados a la transformación digital a través de la implementación de modelos de gestión de procesos para la Industria 4.0 dentro de sus actividades basadas en la producción, es de gran importancia y representa un factor crítico de éxito para la implementación de tecnología 4.0 dentro de la empresa (Fettig et al., 2018; Shamim, Cang, Yu y Li, 2016).

Es necesario que los trabajadores cuenten con competencias de TI, así como con una comprensión general del proceso para que se alineen a la estrategia de la organización. Asimismo, es requerido que cuenten con conocimientos acerca de tecnología de automatización, análisis de datos, seguridad de datos y comunicaciones, desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia, utilización de softwares de colaboración y habilidades no técnicas como pensamiento crítico o entendimiento de nuevos procesos (Fettig et al., 2018; Sony y Naik, 2019). Todas estas habilidades son necesarias, dado que los recursos humanos que posee una empresa impactan de manera positiva en su capacidad para implementar con éxito los modelos de gestión de procesos de la Industria 4.0 (Nwaiwu et al., 2020). El nivel de preparación en esta dimensión se determina a partir de los siguientes dos criterios: la adquisición de habilidades por parte de los empleados y el conjunto de habilidades actuales de los empleados (Lichtblau et al., 2015).

Una empresa en el Nivel 0 no conoce ni posee empleados con los requerimientos necesarios para la aplicación de Industria 4.0; en el Nivel 1 cuenta con empleados que tienen bajos niveles en estas habilidades y solo dentro de un área relevante; en el Nivel 2 cuenta con empleados que tienen bajos niveles de habilidad en pocas áreas relevantes; en el Nivel 3 posee empleados con los niveles de habilidades adecuados dentro de algunas de las áreas relevantes; en el Nivel 4 tiene empleados con los niveles de habilidad adecuados en la mayoría de las áreas relevantes; y, finalmente, en el Nivel 5 cuenta con empleados que tienen todas las habilidades disponibles en todas las áreas relevantes de la organización (Lichtblau et al., 2015).

#### **4. Herramienta de apoyo a la toma de decisiones**

Dentro del proceso de formulación de una estrategia también se requiere utilizar alguna herramienta o método que permitan ejecutar un procedimiento consistente de priorización para seleccionar correctamente aquellos aspectos que deben implementarse inicialmente al tener un mayor impacto en los resultados de la empresa. Ahora bien, los modelos explicados en la sección anterior están compuestos por diversas dimensiones y criterios que deben cumplirse para determinar el nivel de preparación de una organización con respecto a la Industria 4.0; de esta manera, a partir de los resultados obtenidos surge la posibilidad de generar diversas estrategias para cada una de las dimensiones evaluadas. Por este motivo, como la Industria 4.0 involucra tomar en cuenta diversos factores que podrían influir en cuáles de estas dimensiones deben

priorizarse, los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM, en sus siglas en inglés) se sugieren como las técnicas más apropiadas para hacer frente a este tipo de decisiones como puede observarse en los estudios de Kaya, Erdoğan, Karaşan y Özkan (2020), Abdulrahman (2019), Ly, Lai, Hsu y Shih (2018), Sevinç, Gür y Eren (2018) y Yoon, Thin, Thao, Im y Gim (2019).

En este sentido, el uso de un método de toma de decisiones multicriterio permite evaluar la importancia de cada una de las dimensiones, lo que permitiría priorizar el diseño de los lineamientos estratégicos a ser propuestos a la empresa. Para ello, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, en sus siglas en inglés) desarrollado por Saaty (1980) resulta ser una herramienta efectiva para facilitar el proceso de evaluación de los criterios que afectan el problema y permitir una toma de decisiones más acertada. El AHP se desarrolla por medio de una estructura jerárquica de varios niveles, donde los criterios se van escalando proporcionalmente entre sí mediante el uso de matrices de comparación; para ello, es necesario seguir ciertos pasos que permitan obtener las ponderaciones de cada uno de los criterios por medio de una evaluación cualitativa del encargado de tomar la decisión o a través de la participación de expertos (Saaty, 1990).

El primer paso del proceso es definir el problema que se desea responder (nivel 0) y establecer la estructura jerárquica de los criterios y subcriterios (nivel 1) vinculados a este y las alternativas a ser evaluadas (nivel 2). Cabe destacar que, según Saaty (1990) el tomador de decisiones puede insertar o eliminar niveles y/o elementos según sea necesario para aclarar la tarea de establecer prioridades o afinar el foco en ciertas partes de la sistema, por este motivo, solo se trabajará la priorización del primer nivel. Como segundo paso, se deben crear las matrices de comparación binaria entre criterios para determinar la ponderación de cada uno de ellos; posterior a ello, se debe desarrollar un proceso de evaluación entre cada una de las comparaciones utilizando la escala creada por Saaty (1990) que permite determinar el nivel de importancia de un criterio con respecto a otro como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3: Escala Fundamental para comparación por pares**

Escala	Descripción	Consideración
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada de uno sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen moderadamente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte de uno sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad se ve fuertemente favorecida y su dominio se demuestra en práctica
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es de las más altas afirmaciones posibles
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos valoraciones	Valores intermedios entre cada una de las valoraciones

Adaptado de Saaty (1990)

De esta forma, si el criterio A es moderadamente más importante que el factor B, la celda de comparación entre A – B contendrá el valor de 3, lo que implica que la celda B – A contiene el valor recíproco de 1/3, como se puede observar en la tabla 4 si  $x = 3$ .

**Tabla 4: Ejemplo de cómo completar la matriz de comparación por pares**

Criterio	A	B	C	D
A	1	x	y	z
B	1/x	1	w	k
C	1/y	1/w	1	p
D	1/z	1/k	1/p	1
Total	T1	T2	T3	T4

El tercer paso consiste en la creación de la matriz normalizada, la cual se obtiene por medio de la división de cada valor con la sumatoria de su columna respectiva. A partir de ello, se calcula el promedio de todos los valores dentro de un mismo criterio para obtener las ponderaciones (W) de importancia como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5: Matriz normalizada del ejemplo presentado en la Tabla 4**

Criterio	A	B	C	D	W
A	$1/T$	$x/T2$	$y/T3$	$z/T4$	$W1 = (1/T + x/T2 + y/T3 + z/T4) / n$
B	$1/(T * x)$	$1/T2$	$w/T3$	$k/T4$	$W2 = [1/(T * x) + (1/T2) + (w/T3) + (k/T4)] / n$
C	$1/(T * y)$	$1/(T2 * w)$	$1/T3$	$p/T4$	$W3 = [1/(T * y) + 1/(T2 * w) + 1/T3 + p/T4] / n$
D	$1/(T * z)$	$1/(T2 * k)$	$1/(T3 * p)$	$1/T4$	$W4 = [1/(T * z) + 1/(T2 * k) + 1/(T3 * p) + 1/T4] / n$

Adaptado de Saaty (1980)

(Nota)  $n$  = número de variables analizadas en la matriz

Como cuarto paso, se debe revisar la consistencia de cada matriz de comparación realizada; y, si la matriz de comparación no es consistente, los pesos resultantes no pueden ser utilizados. Para ello, primero debemos multiplicar la matriz de comparación por pares por el vector de ponderación ( $C \times W = WS$ ) y el resultado de cada multiplicación debe ser agregado para obtener un nuevo vector llamado valor de la suma ponderada ( $WS_i$ ). Posteriormente, se requiere dividir cada vector del valor de la suma ponderada ( $WS$ ) con la ponderación de cada criterio ( $W$ ) para obtener el vector  $\lambda$ ; asimismo, se debe calcular el  $\lambda_{max}$  a través de un promedio de todos los vectores  $\lambda$  de cada criterio. Con el valor de  $\lambda_{max}$  calculado, se obtiene el índice de consistencia (CI) por medio de la siguiente fórmula:  $CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$ . Después de calcular el valor de CI, se debe obtener el valor del índice aleatorio (RI), el cual es tabulado para cada tamaño de matrices de acuerdo a la cantidad de variables analizadas como puede observarse en la tabla 6 (Saaty, 1990).

**Tabla 6: Valores del Índice Aleatorio (RI)**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Adaptado de Saaty (1980)

Finalmente, el ratio de consistencia (CR) se obtiene por medio de la fórmula  $CR = \frac{CI}{RI}$ . Cabe destacar que un ratio de consistencia menor a 0.1 indicaría que la aplicación y las ponderaciones obtenidas son consistentes; en cambio, si el valor supera el 0.1, las valoraciones deben revisarse nuevamente.



## CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL

En este capítulo se busca aterrizar los conceptos abordados en el marco teórico, identificando los espacios de oportunidad que representa la implementación de tecnología 4.0 en las características actuales de las PyMES del sector Textil - Confecciones en el Perú. Para ello, el cuerpo de este apartado se divide en cinco secciones: (1) adopción de Industria 4.0 en el Perú, (2) Industria 4.0 en PyMES (3) contribución de la PyME en el desarrollo de la economía, (4) el sector Textil – Confecciones y, finalmente, (5) se presenta a las empresas que forman parte de la investigación como sujeto de estudio.

De acuerdo con las secciones mencionadas en el párrafo anterior; en primer lugar, se emplean estudios globales para determinar el nivel de competitividad del Perú como país en cuanto a la implementación de la Industria 4.0. En segundo lugar, se documenta los estudios que abordan la aplicación de la Industria 4.0 dentro del universo de PyMES, exponiendo sus características, importancia y los desafíos que implica el proceso a nivel local. En tercer lugar, se desagrega la naturaleza e importancia de la PyME en el ámbito global y peruano, lo que justifica la relevancia de incluirla dentro del proceso de la transformación hacia la Industria 4.0. En cuarto lugar, se busca describir las características del sector en el Perú y las innovaciones que la Industria 4.0 propone para incrementar la competitividad y productividad de dicho sector. Por último, se finaliza con la presentación breve de las empresas que forman parte del sujeto de estudio de esta investigación.

### **1. Adopción de la Industria 4.0 en el Perú**

El surgimiento de nuevos desarrollos tecnológicos como robots autónomos, sistemas ciber físicos, el internet de las cosas y otras tecnologías disruptivas que se han mencionado en el cuerpo del marco teórico de esta investigación, implican nuevos desafíos para los tomadores de decisiones no solo del ámbito empresarial, sino también a nivel país. En ese sentido, la responsabilidad de incluir dichas tecnologías para la optimización de productos y/o servicios no es compromiso único de las empresas, sino que también obliga a los líderes de países a emprender estrategias y acciones para enmarcarse en la Cuarta Revolución Industrial, a fin de no acentuar las brechas ya existentes en la economía global (Schwab, 2019). Es por dicha razón que, antes de ingresar en el marco del sector Textil-Confecciones y profundizar en el sujeto de esta investigación, primero se busca realizar una lectura a nivel país que permita determinar el grado de preparación actual del Perú con respecto a la adopción de tecnología 4.0, lo que sirve como contexto nacional en cuanto al tema de este estudio.

De acuerdo con las necesidades de diseñar nuevas estrategias económicas en el contexto tecnológico 4.0, el *World Economic Forum* (WEF), Organización Internacional para la

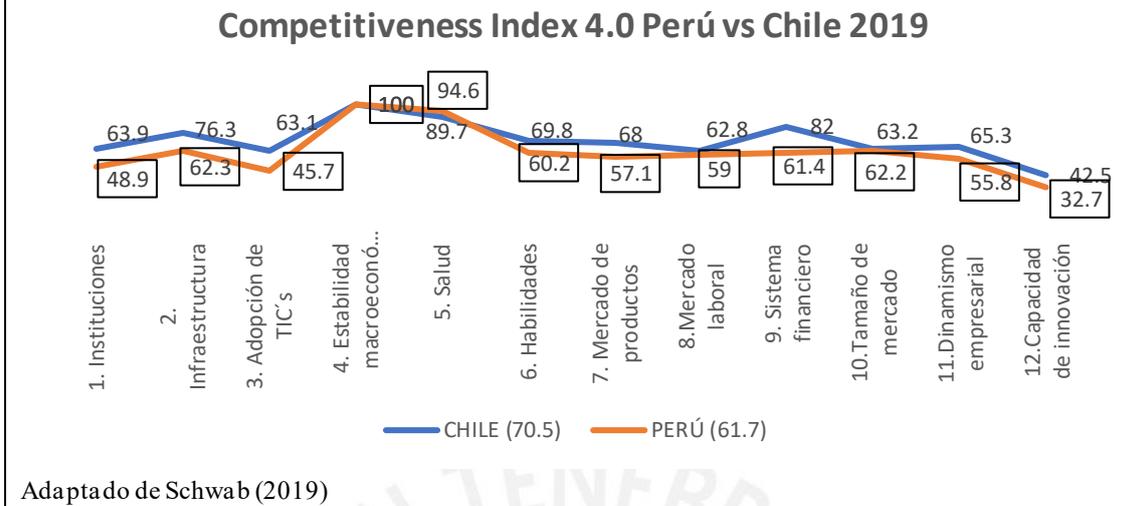
Cooperación Público-Privada que reúne a los líderes de diversos sectores de la sociedad para abordar las agendas mundiales, regionales e industriales, ha desarrollado el *Global Competitiveness Index 4.0*, un documento que proporciona información sobre un conjunto de factores que impulsan la productividad y crecimiento a largo plazo dentro del entorno de la Cuarta Revolución Industrial; lo que sirve como orientación a los diversos *stakeholders* tanto públicos como privados para desarrollar estrategias y monitorear sus avances (Schwab, 2019). En ese sentido, el reporte muestra resultados de 141 economías organizando sus datos en base a 12 pilares puntuados del 1 al 100.

Entre los hallazgos de la edición del 2019, se encontró diferencias significativas entre las regiones e incluso amplias dispersiones dentro de una misma región; no obstante, se resalta la región de Asia Oriental y el Pacífico como la más competitiva del mundo liderando el ranking con Singapur. La segunda posición en el rango la sostiene la región de Europa, y en tercer lugar se encuentra Norte América con Estados Unidos. Por su parte, la región de Latinoamérica y el Caribe es liderada por Chile en el puesto 33; mientras que el Perú se posiciona en la ubicación 65, descendiendo dos niveles con respecto al ranking 2018. Según el informe, las diferencias regionales se encuentran más acentuadas en pilares bajo la categoría de “ambiente adecuado” que contiene indicadores como Infraestructura y Adopción de TIC’s; aunque, vale la pena resaltar que este último indicador constituye un campo en el que las economías emergentes están avanzando cada vez más rápido. En contraste, la menor variación interregional se encuentra específicamente en el indicador Capacidad de innovación ya que solo 4 países alcanzaron una puntuación superior a 80 sobre 100.

Por otro lado, con respecto al fin de evaluar el nivel de competitividad del Perú, si bien existen amplios espacios de oportunidad en comparación a los avances de países de regiones desarrolladas como Asia Oriental, Europa o Norte América, primero se encuentra conveniente centrarse en analizar las brechas de competitividad del Perú en comparación a un país perteneciente a la región Latinoamérica, debido al mayor grado de homogeneidad en términos de desarrollo que abarca el territorio de dicha región. En ese sentido, en el párrafo anterior se presentó de manera general los hallazgos regionales del reporte, logrando identificar a Chile como referente de competitividad en la región Latinoamérica debido a su posición de líder en el ranking con respecto a los países de dicho lugar.

A continuación, se presenta una comparación sobre los puntajes alcanzados por Chile frente a los puntajes alcanzados por Perú en los 12 pilares que determinan el nivel de competitividad en el entorno 4.0, ello permite exponer los espacios que representan mayores oportunidades de mejora para el Perú como se muestra en la figura 4.

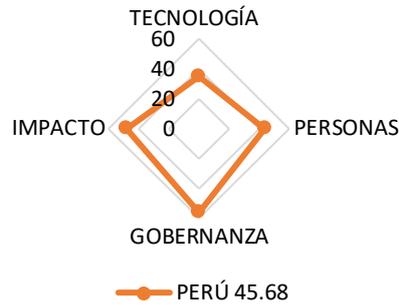
**Figura 4: Comparativo Perú vs Chile según el Global Competitiveness Index 4.0**



En primer lugar, se observa que el comportamiento general de desarrollo es similar en ambos países. Así, los dos pilares más sólidos para el Perú son la Estabilidad macroeconómica y el pilar Salud, alcanzando incluso 4,9 puntos sobre Chile en este último. No obstante, el mayor pico de variación se encuentra en el pilar Sistema financiero con 20,6 puntos de diferencia; seguido por el pilar adopción de TIC's con una variación de 17,4, ambas puntuaciones por debajo de Chile. Por otro lado, cabe señalar que el puntaje más bajo para ambos países se presenta en el pilar Capacidad de Innovación, siendo este último un punto de mejora para todos los países en general. Entonces, según los resultados del *Global Competitiveness Index 4.0*, existen varios aspectos por mejorar en el país, pero sobre todo se reafirma el tema tecnológico, estrechamente vinculado con la innovación, como uno de los principales espacios de oportunidad para mejorar la competitividad del país.

Con respecto a lo mencionado, el *Network Readiness Index (NIR)*, índice mundial sobre el uso de tecnología elaborado por la *World Information Technology and Services Alliance (WITSA)*, permite evaluar el progreso y preparación tecnológica de sociedades y economías de 121 países con base a 4 criterios que posicionaron al Perú en el puesto 77, volviendo a tener la puntuación más baja en el pilar tecnología. A manera de exponer los hallazgos, se presenta un gráfico sobre el nivel de preparación y desarrollo tecnológico del Perú.

**Figura 5: Puntaje Perú según el Network Readiness Index 2019**



Adaptado de Dutta y Lanvin (2019).

En el desarrollo de esta sección se ha expuesto resultados de estudios globales que exponen las distintas dimensiones que la Industria 4.0 implica para su adopción por parte de los países y el nivel de avance de estos en cuanto al tema. En el caso del Perú es notable la brecha significativa que presenta específicamente en el pilar tecnología. Así, en su evaluación según el ranking NIR 2019, el subindicador tecnologías futuras señala que el país tiene un nivel bajo en disponibilidad de últimas tecnologías (puesto 111) y existe poca inversión de empresas en cuanto a tecnologías emergentes (puesto 81). Por ende, se resalta la amplitud de los esfuerzos necesarios para percibir los beneficios de nuevas tecnologías como el Big Data y Analítica; Robots Autónomos; Simulación; Internet de las Cosas; Sistemas ciber físicos; Computación en la nube; Realidad Aumentada; Fabricación Aditiva y Ciberseguridad; dentro de la industria peruana.

A partir de los estudios expuestos que contribuyeron a plantear el panorama sobre la situación del Perú en el ámbito global en cuanto a temas de competitividad en la Industria 4.0, se ha evidenciado la necesidad de emprender acciones para potenciar la situación del país. Precisamente, es importante mencionar que el Consejo Nacional de Competitividad y Formalización del Perú (CNCF) ha lanzado el Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030 en cual se propone un conjunto de medidas políticas organizadas en 9 objetivos prioritarios a ser desarrollados y medidos en 4 horizontes temporales. Por su parte, cada objetivo se encuentra bajo el cargo de una entidad responsable, tratando temas de (1) infraestructura, (2) capital humano, (3) innovación, (4) financiamiento, (5) mercado laboral, (6) ambiente de negocios, (7) comercio exterior, (8) institucionalidad y (9) sostenibilidad ambiental. Si bien, dichos objetivos son importantes iniciativas para mejorar la situación del Perú en cuanto a su nivel de competitividad bajo distintos aspectos también mencionados en los estudios anteriores; de manera específica, el tercer objetivo prioritario conversa con la necesidad vinculada directamente con el tema de la presente investigación.

Así, dicho objetivo propone “generar el desarrollo de las capacidades para la innovación, adopción y transferencia de mejoras tecnológicas” (CNCF, 2019, p. 29), por lo que merece la pena desglosar a detalle los lineamientos de política que en él se establece. Como primer lineamiento, el objetivo busca fortalecer el entorno del ecosistema innovador mediante mejoras normativas que fomenten la cultura de investigación, innovación, absorción tecnológica y digitalización. Los siguientes lineamientos se encuentran en torno a dicho eje; así, el segundo, busca asegurar la disponibilidad del capital humano especializado; el tercero, busca incrementar la inversión pública y privada; el cuarto, acelerar los procesos a través de la articulación pública y privada y el quinto busca crear y fortalecer mecanismos que eleven el nivel de la investigación científica y el desarrollo tecnológico de instituciones orientados a las demandas del mercado (CNCF, 2019).

Por ende, después de todo lo expuesto, se observa que existen amplios espacios de oportunidad para potenciar la competitividad del Perú en el marco de la Industria 4.0, entre ellos resaltan aspectos como debilidades en el sistema financiero, carencias en innovación y sobre todo el aspecto tecnológico. Debido al tema de esta investigación, se ha hecho un énfasis deliberado en los últimos dos aspectos mencionados, frente a los que ya existe conciencia y apoyo por parte del gobierno en conjunto con el sector privado para impulsar la mejora a través del fomento de un ecosistema de innovación, absorción de tecnología y digitalización. Por lo que se culmina este acápite denotando un ambiente positivo para el desarrollo de esta investigación.

## **2. Industria 4.0 en PyMES**

Durante los últimos años, las publicaciones en torno al fenómeno de la Industria 4.0 se han incrementado considerablemente y un número cada vez más creciente de académicos han abordado el tema desde la perspectiva de la pequeña y mediana empresa (Matt y Rauch, 2020; Trotta y Garengo, 2019). Bajo este escenario, la investigación sobre la Industria 4.0 en la PyME ha puesto de manifiesto las dificultades encontradas para su proceso de transición hacia el nuevo paradigma industrial, exponiendo las diversas limitaciones que presenta y generando conciencia sobre el déficit de conocimiento para la adaptación de este tipo de empresas (Mittal et al., 2018; Sommer, 2015; Trotta y Garengo, 2019). Por ello, es importante considerar que no todas las organizaciones se encuentran preparadas para adoptar de manera completa la transformación hacia la Industria 4.0 (Ghobakhloo, 2018); y las empresas más pequeñas son aquellas que presentan mayores dificultades para poner en práctica los elementos que implica esta nueva revolución industrial (Matt y Rauch, 2020; Sommer, 2015).

En línea a lo mencionado en el párrafo anterior, Mittal et al. (2018) menciona que las PyMES afrontan barreras y desafíos diferentes a los que se enfrentan las grandes empresas; por

lo que, debe tenerse en consideración los requerimientos específicos de tales organizaciones dentro del proceso de transformación. Para poner en evidencia dichas diferencias, los autores identificaron las características empresariales esenciales de las pequeñas y medianas empresas a partir de una revisión bibliográfica de investigaciones basadas en estudios de casos desarrollados con PyMES de diferentes países. Luego, a través de una comparación con las características que presentan las grandes empresas, Mittal et al. (2018) formularon un conjunto de requisitos específicos de las PyMES manufactureras que se proponen como limitaciones y oportunidades a tomar en consideración para su transformación hacia la Industria 4.0 como se muestra en la figura 6.

**Figura 6: Características de PyMES manufactureras**

Características	PyME	Grandes empresas	Características	PyME	Grandes empresas
Recursos financieros	Bajo	Alto	Toma de decisiones	Restringido al líder / Pocos portadores de conocimiento	Junta de asesores / Consultores (Int/ Ext)
Uso de tecnología avanzada para la producción	Bajo	(Muy) Alto	Estructura organizacional	Menos complejo e informal	Complejo y formal
Software (Incluye análisis de data)	Bajo (Soluciones a medias)	Alto (Soluciones estandarizadas)	Compromiso de trabajadores	Dominios múltiples	Dominios especializados
Investigación y desarrollo	Bajo	Alto	Exposición de trabajadores al desarrollo	Alto en la industria / Bajo fuera de la industria	Bajo en la industria / Alto fuera de la industria
Especialización de producto	Alto	Bajo	Conocimiento y experiencia industrial	Enfocado en un área específica	Disperso en distintas áreas
Consideración de estándares	Bajo	Alto	Alianza con universidades / Instituciones de investigación	Bajo	Alto
Cultura de la organización / Flexibilidad de liderazgo	Bajo	Alto	Actividades importantes	Subcontratadas	Interno en la organización
Estrategia empresarial	Liderado por el instinto del líder (Dueño)	Investigación de mercado y Análisis de precios	Dependencia en red de colaboración	Alto	Bajo
Relaciones Cliente / Proveedor	Alto (Fuerte)	Baja (No tan fuerte)			

Adaptado de Mittal et al. (2018)

De acuerdo con el resumen de las características mostradas en la figura 6, los autores agrupan los requisitos específicos de las PyMES en categorías tales como recursos financieros, tecnologías avanzadas de producción, normas industriales, cultura organizacional, participación de empleados, alianzas con universidades y/o instituciones de investigación y colaboración. Ello debido a que, a diferencia de las grandes empresas, la PyMES poseen una falta de garantías para financiamiento, no pueden actualizar y adoptar fácilmente tecnología avanzada para la producción, su software está diseñado para resolver problemas específicos que se presentan en PyMES y no se guían de estándares debido a los recursos necesarios para preparar y pasar las certificaciones. No obstante, su producción es altamente especializada, lo que la ayuda a diferenciarse de sus competidores (Mittal et al., 2018).

Continuando las limitaciones, en lo que refiere a los empleados, estos tienen bajas probabilidades de desarrollar altos niveles de experiencia en un campo particular, ya que tienen responsabilidades cotidianas en una variedad de áreas; mientras que los trabajadores de una gran empresa tienen mayor probabilidad de poder especializarse y ser considerados expertos en áreas

específicas. Las PyMES tienen dificultades para formar alianzas con universidades e institutos de investigación, por lo que no pueden actualizarse con la investigación de vanguardia, viéndose limitadas a aprender de su propia experiencia. Asimismo, su conocimiento se centra en el dominio específico, por lo que externalizan muchas actividades esenciales; además, manejan un número reducido de proveedores/vendedores y en consecuencia tienen una fuerte dependencia en ellos. Por último, sus decisiones son tomadas de acuerdo con la intuición del dueño y su estructura organizacional es menos complicada y formal que la de una gran empresa (Mittal et al., 2018).

Sin embargo, debido a su flexibilidad, espíritu emprendedor y capacidad de innovación, las PyMES pueden ser adaptativas e innovadoras no solo en términos de sus productos, sino también en términos de sus prácticas en cuanto a fabricación (Matt y Rauch, 2020). Por ello, las limitaciones que presenta, generan la necesidad de realizar más investigaciones especiales enfocadas en el proceso de implementación de las tecnologías y procesos que forman parte de la Industria 4.0 en dichas organizaciones, así como planes de acción para prepararlas en una dirección técnica y organizacional (Matt y Rauch, 2020; Sommer, 2015). En ese sentido, como se observó en el marco teórico, diversos autores están desarrollando modelos de preparación o madurez, estudiando sobre marcos de trabajo, conjuntos de herramientas y hojas de ruta para ayudar a la PyME a comprender su estado real y guiarla a la implementación de la Industria 4.0 (Matt y Rauch, 2020).

Tomando en cuenta las investigaciones realizadas en el Perú, se desarrolló un estudio para analizar los factores que dificultan la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en la PyME del sector manufacturero (Huang et al., 2019). Como resultado, se determinaron cuatro factores: (1) falta de tecnología avanzada, (2) falta de inversión financiera, (3) mala visión de gestión y (4) falta de trabajadores calificados como se muestra en la tabla 7. Dichos hallazgos son de significativa relevancia para identificar los puntos a trabajar en el sector peruano con respecto a los esfuerzos para enmarcarse en la Industria 4.0, los cuales fueron considerados para la elaboración de la ruta estratégica que propone la presente investigación.

**Tabla 7: Factores que limitan la implementación de la Industria 4.0 en las PyME del Perú**

<b>Inversión Financiera</b>	Existen diversos costos involucrados en la implementación de nuevas tecnologías o sistemas que necesitan integrarse: Mantenimiento y soporte técnico para garantizar la continuidad de las nuevas tecnologías. Además, existen costos de capacitación.
<b>Tecnología Avanzada</b>	La instalación de tecnología de la Industria 4.0 es costosa y requiere de conocimiento especializado.
<b>Visión de gestión</b>	Implica el apoyo de la alta gerencia para la adopción de nuevas tecnologías e innovaciones. Con el apoyo se puede realizar estudios y asignar recursos suficientes para las nuevas tecnologías.
<b>Trabajadores calificados</b>	Implica una alta demanda de una fuerza laboral calificada.

Adaptado de Huang et al. (2019).

En efecto, a partir de dicha investigación, se corrobora que las PyMES presentan particularidades propias que limitan en cierta medida la implementación exitosa de la Industria 4.0. Se observa que varias de las características expuestas en la investigación de Mittal et al. (2018), clasificadas por los mismos autores como requerimientos específicos de la PyME, son identificadas como factores críticos en el estudio realizado sobre contexto peruano. En ese sentido, las iniciativas y proyectos para implementar la Industria 4.0 en el sector PyME del país, incluso a nivel global, deben necesariamente tener en consideración los obstáculos que el sector enfrenta haciendo énfasis en los aspectos más significativos.

### **3. Contribución de la PyME en el desarrollo de la economía**

En el marco teórico de esta tesis se ha abordado el concepto de Industria 4.0 y los factores clave de preparación para desarrollar el proceso de implementación; no obstante, se reconoce que las necesidades de cada organización en cuanto al proceso varían según el segmento empresarial. Por ello, en el desarrollo del marco contextual se ha aterrizado dicha información en el contexto de la PyME, señalando los requerimientos específicos que presenta y los consiguientes factores que intervienen en el proceso según sus particularidades, dicha información apoyada tanto en estudios globales como en una investigación desarrollada en el entorno peruano. Ahora, este apartado tiene por objetivo poner en evidencia la importancia de la PyME tanto a nivel global como a nivel local dentro del proceso de adaptación, lo que justifica la relevancia de analizar el fenómeno de la Industria 4.0 dentro de dicho segmento empresarial.

En cuanto a su definición, todavía no se converge en un consenso global para definir el concepto de la pequeña y mediana empresa (PyME), existen diversos enfoques en cuanto a las definiciones y clasificaciones que varían de un país a otro, inclusive entre instituciones de un mismo país (Ayyagari, Beck y Demircuc-Kunt, 2007; Cardozo, Velasquez de Naime y Rodriguez, 2012; Pereira Bolaños, 2019). Los criterios más comunes para la definición de la PYME en Europa y América Latina están determinados por el número de trabajadores y ventas de la empresa (Cardozo et al., 2012; Pereira, 2019). A fin de delimitar el concepto en el Perú, la presente investigación tomará como referencia la definición en base a las ventas anuales, según la última modificación al Texto Único Ordenado de la Ley de Impulso al Desarrollo Productivo y al Crecimiento Empresarial<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ley 30056: ley que modifica diversas leyes para facilitar la inversión, impulsar el desarrollo productivo y el crecimiento empresarial. Define Microempresa a ventas anuales menores de 150 UIT, Pequeña Empresa con ventas anuales menores 1700 UIT y Mediana Empresa con ventas anuales menores a 2300 UIT.

### **3.1. Importancia de la PyME a nivel global**

Pese a la falta de claridad en su definición, es ampliamente reconocida la creciente importancia de la PyME a nivel internacional debido a su significativo aporte en el empleo y desarrollo de las economías, sobre todo en países emergentes (Ayyagari et al., 2007; Cardozo et al., 2012; Chin, Hamid, Rasli y Baharun, 2012; Ministerio de Economía Industria y Competitividad, 2017; Organización Mundial del Comercio, 2016; Pereira, 2019). Según el Banco Mundial (como se citó en Pereira, 2019), las PyMES representan más de la mitad de los puestos formales en el mundo, por lo que desempeñan un papel relevante en la competitividad y crecimiento económico de los países. Sin embargo, existe poca data sistematizada que analice el alcance e impacto de dicho fenómeno (Organización Mundial del Comercio, 2016).

Por ello, continuando con lo mencionado en el párrafo anterior, Ayyagari, Demirguc-Kunt y Maksimovic (2014) desarrollaron un análisis a partir de una muestra de 49 370 empresas en 104 países en desarrollo, cuyo principal hallazgo señala que la contribución del sector PyME a la economía global es comparable al aporte de las grandes empresas. Ello se sustenta en el hecho de que las pequeñas y medianas empresas reportan mayor participación en la tasa de creación de empleo y una mayor tasa de crecimiento en ventas; mientras que las grandes empresas generan mayores tasas de productividad y empleo, por lo que tienen aportes equivalentes. En la misma línea, se realizó un estudio para analizar la contribución de las PyME en el empleo total del sector manufacturero y el PBI de 76 países (33 desarrollados y 43 en desarrollo). Como resultado se obtuvo que dicho segmento empresarial constituye la mayor parte del sector privado de países en desarrollo; además, se determinó que la contribución promedio de la PyME al PBI es del 45% (49% en los países desarrollados y 35% en los países en desarrollo) (Ayyagari et al., 2007).

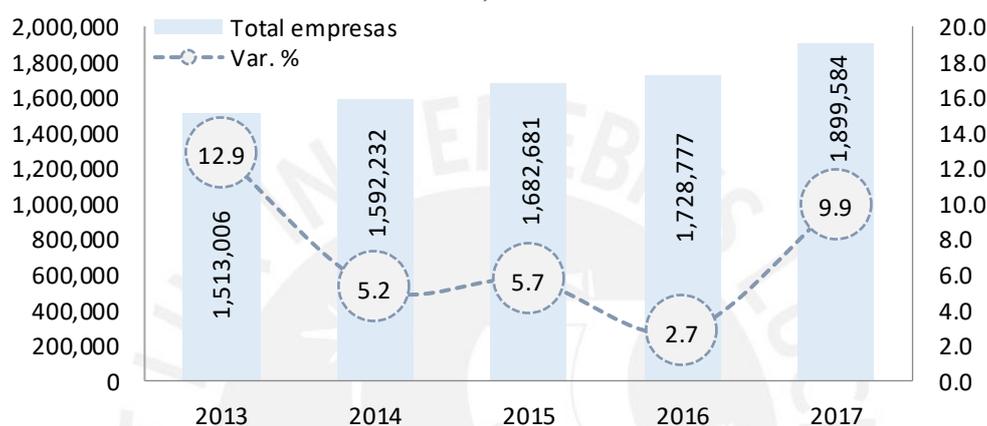
Por otro lado, la PyME, como parte de la cadena de valor del aparato productivo, facilita la diversificación y dinamización de la economía. Por ello, su importancia no sólo está circunscrita al ámbito de generación de empleo y valor añadido, sino que tiene un rol significativo en la flexibilidad y dinamismo del proceso productivo, lo que permite una mejor adaptación ante los cambios del mercado (Cardozo et al., 2012; Ministerio de Economía Industria y Competitividad, 2017). Por ende, la PyME es un actor clave que impulsa el desarrollo de la economía y, como parte de su rol dinámico, debe ser necesariamente incluida en el proceso de transformación hacia la Industria 4.0.

### **3.2. Importancia de la PyME en la industria manufacturera del Perú**

En cada país, la mayoría de las empresas del sector económico se encuentran concentradas en el segmento de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPyMES), las cuales representan una proporción considerable del empleo total (Organización Mundial del Comercio,

2016). En el Perú, el 99,9% del tejido empresarial está constituido por dicho conjunto de empresas que a su vez representan el 99.5% de las empresas formales (ver Anexo D), lo que evidencia su importancia en el crecimiento del PBI y la generación de empleo en el país; ya que, en conjunto generan alrededor del 60% de la PEA ocupada (Ministerio de la Producción, 2018). A lo largo de los últimos años, el número de empresas formales de dicho segmento se ha incrementado a un ritmo promedio anual de 7,2% (Ministerio de la Producción, 2018); a continuación, se detalla su evolución en el tiempo como se muestra en la figura 7.

**Figura 7: Evolución de las MIPYMES formales, 2013-2017**



Fuente: Ministerio de la Producción (2018)

Por otro lado, en cuanto a su distribución por industrias, es importante mencionar que la Industria Manufacturera concentra el 8% de PyMES, siendo uno de los principales sectores en donde existe mayor conglomeración de dichas empresas (Ministerio de la Producción, 2018) (ver Anexo E). Por su parte, de acuerdo con la información presente en el Anuario Estadístico Industrial (Ministerio de la Producción, 2019a), la producción de la industria manufacturera contribuye con un promedio histórico del 14.75% al PBI del país como se muestra en la figura 8.

**Figura 8: Contribución (%) de la Industria Manufacturera al PBI, 2007-2018**



Fuente: Ministerio de Producción (2019a)

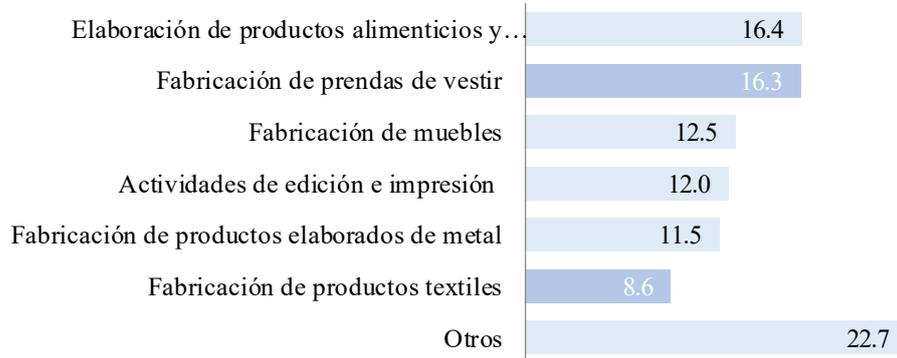
Sin embargo, la coyuntura del 2020 se encuentra afectada de manera negativa debido a la presencia de una pandemia generada por el virus COVID – 19 que, entre otras consecuencias, ha generado contracciones en todas las economías del mundo, incluyendo la del Perú. Bajo tal escenario, cabe mencionar que la producción industrial manufacturera experimentó una fuerte disminución de -32.2% con respecto al mes de marzo del año anterior como se muestra en la figura 9.



Dicho comportamiento negativo es generado a consecuencia del Estado de Emergencia Nacional declarado por el Gobierno a mediados del mes de marzo de 2020, mes en el que se paralizó la mayoría de las actividades industriales; siendo el rubro de prendas de vestir una de las actividades con resultados más desfavorables dentro del segmento de bienes de consumo, ya que tuvo una disminución del -64.8% con respecto al mes de marzo del año anterior (Ministerio de la Producción, 2020). Más adelante se profundizará sobre el efecto negativo que dicha situación generó sobre la producción del sector Textil-Confecciones del país.

No obstante, en cuanto a su estructura en condiciones normales; a continuación, se presenta la participación de las MIPyMES formales en el 2017 según la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU) dentro de la industria manufacturera peruana, en donde se evidencia que el sector Textil Confecciones representa el 24.9% de la misma, configurándose como un sector de importancia (ver Anexo F).

**Figura 10: Participación de las MIPYME formales en el sector manufacturero, según división CIU, 2017(%)**



Fuente: Ministerio de la Producción (2018)

Por otro lado, en línea al tema central de esta tesis, considerando que la innovación es un requisito evidente para la transformación hacia la Industria 4.0, resulta pertinente exponer los resultados de la encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)<sup>2</sup> en la que indica que el 61,2% de las empresas de la industria manufacturera realizaron al menos una actividad con la intención u objeto de innovar en producto, proceso, organización o comercialización. Asimismo, de acuerdo con los resultados de innovación según actividad económica, el subsector Confecciones alcanzó una tasa de 62,3% ubicándose sobre la media, por su parte el subsector Textil alcanzó 49% y pese a no ser las tasas más altas de la industria manufacturera, se resalta que existe evidencia de práctica y apertura a la innovación en el Sector Textil Confecciones (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI, 2015]).

#### **4. Sector Textil-Confecciones**

En este apartado se describe principalmente las características del sector Textil – Confecciones en el Perú, exponiendo su participación en el PBI peruano y las oportunidades que genera en el mercado local e internacional, lo que justifica la necesidad de introducir innovaciones tecnológicas dentro del sector para no perder competitividad. Finalmente, se aborda las implicancias que la Industria 4.0 introduce en el sector.

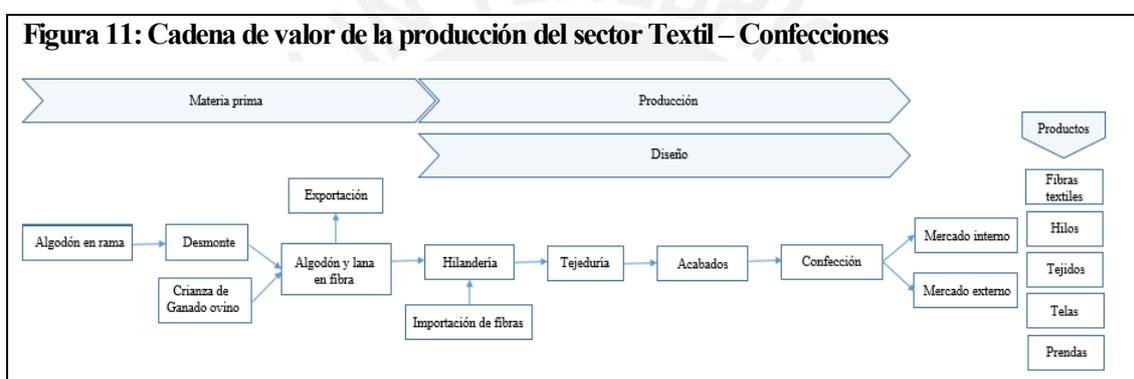
##### **4.1. Características del Sector Textil-Confecciones peruano**

La industria está compuesta por dos subsectores que distinguen la producción manufacturera: el Sector Textil y el Sector Confecciones. El primer sector, abarca desde las operaciones de desmonte de algodón, hasta las actividades de tratamiento de fibras textiles para la fabricación de hilados, tejeduría y confección de prendas de vestir u otros artículos. En ese

<sup>2</sup> Encuesta realizada a empresas con ventas anuales mayores a 150 UIT (2015).

sentido, su producción se centra en la utilización del algodón y pelos finos tales como la alpaca y vicuña, además de la utilización de fibras sintéticas y artificiales. Mientras que el segundo sector, comprende la producción de prendas a partir del *output* generado por el primero (Chávez, Rosillo, García y Coello, 2015; Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2008; Pérez, Rodríguez, Ingar, Court y Panez, 2010). No obstante, una vez manifestada las diferencias, la presente investigación realiza el análisis del sector haciendo alusión al Sector Textil – Confecciones en tanto que son industrias estrechamente vinculadas.

El sector Textil – Confecciones peruano se caracteriza por disponer de todas las etapas de la cadena productiva al contar con plantas desmotadoras, plantas de hilandería, tejeduría, tintorería y confección (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2008). A continuación, en la figura 11 se presenta la cadena de valor del sector.



A partir de la figura 11 se puede observar que la actividad manufacturera Textil – Confecciones inicia con las operaciones correspondientes al subsector textil con actividades que implican la producción y exportación de materia prima, fabricación de fibras, hilado, tejidos y acabados; seguido de la actividad propiamente del subsector Confección. Asimismo, se tiene la etapa de diseño como un proceso transversal que está presente en las actividades mencionadas anteriormente. Por último, en cuanto al comercio, se observa la presencia de un mercado local y extranjero para los distintos productos.

Por otro lado, el hecho de tener todas las etapas de la cadena productiva implica características tales como: encontrarse vinculado con otras industrias, ser intensivo en mano de obra, sin dejar de mencionar el uso de materias primas de origen nacional y el hecho de ser fuente importante de exportaciones (Giulfo, Guerrero, Marill del Aguila y Porto, 2011; Ministerio de la Producción, 2015). En cuanto a su relación con otras industrias, debido a que emplea principalmente los recursos naturales del país, el sector posee conexiones con otros sectores tales como: el agrícola, relacionado al cultivo de algodón; el sector ganadero, por la obtención de pelos finos y lanas; la industria del plástico, para los botones, cierres, bolsas y otros; la industria

química, por la utilización de insumos y colorantes; la industria de papel y cartón, entre otros. De esta manera, se generan distintos puestos de trabajo a lo largo de la cadena de valor (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2008).

La ventaja competitiva del sector radica en la calidad de la materia prima que produce conformada por la cualidad del algodón y lana de auquénidos peruanos; además de los diseños innovadores y acabados a mano que son una herencia milenaria. Ambos elementos en conjunto le han permitido al país un posicionamiento importante en el mundo basado en un diferencial de calidad (Chávez et al., 2015; Martínez et al., 2015). En cuanto a la materia prima, vale la pena mencionar que en el Perú se cultiva una variedad de algodón entre las cuales se encuentra el algodón Pima, Supima, Tangüis, Áspero y Del Cerro; de las cuales el algodón Pima y Tangüis representan en conjunto el 90% de la producción algodонера nacional. Por su parte, destaca la variedad Pima reconocida por poseer la fibra más larga y de mejor calidad comparable solo con el algodón egipcio Giza 70 y el Pima americano; además de competir con fibras sintéticas como la fibra acrílica, el poliéster, el rayón; y en menor medida, con otras fibras naturales como la lana (Ortega, 2004).

Sin embargo, se debe advertir que, a pesar de las crecientes innovaciones del sector a nivel mundial, las exportaciones peruanas se han contraído por la inestabilidad de los mercados, el surgimiento de nuevos competidores, los problemas políticos y económicos internos, así como los altos costos laborales y la falta de políticas agresivas para desarrollar el sector (Chávez et al., 2015). Además, en el escenario global, gracias a la misma exportación de materia prima del Perú, otros países empiezan a ofrecer la misma calidad de producto a un menor precio; por lo que, se corre el riesgo de perder dicha posición de ventaja (Martínez et al., 2015). A ello se suman los grandes retos que en la actualidad afronta el sector, tales como: la investigación para mejorar la productividad y el rendimiento de las fibras, la mejora en las técnicas de producción, la innovación y originalidad en diseños, la gestión de empresas y la mejora de la competitividad y rentabilidad del sector Textil – Confecciones (Chávez et al., 2015).

En el aspecto económico, si bien la participación de la industria manufacturera en el PBI del país ha decrecido en los últimos años, en el 2018 se ha registrado un significativo incremento de 6,2% en comparación al año anterior. Uno de los factores que explicó dicho comportamiento positivo se sostiene en el incremento de las exportaciones en segmentos que tienen mayor sensibilidad a la competencia de mercados externos; uno de ellos, el segmento de prendas de vestir (BCRP, 2018). Precisamente, según data de la Organización Mundial del Comercio (2019), las prendas de vestir han sido el producto manufacturado más dinámico, con un crecimiento del 3,3% en el 2018. No obstante, cabe mencionar que, según la última data publicada en la Dirección

Nacional de Cuentas Nacionales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI, 2018]), el PBI del sector Textil - Confecciones peruano representó el 0,93% del PBI a nivel nacional en el 2017, lo que refleja una caída por séptimo año consecutivo. A continuación, la tabla 8 muestra la evolución de dicho sector en el PBI del país.

**Tabla 8: Evolución del Producto Bruto Interno (PBI) del Sector Textil – Confecciones**

PBI	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nacional	S/416,784	S/473,049	S/508,131	S/543,556	S/570,593	S/604,269	S/647,707	S/687,037
Textiles	S/2,500	S/ 2,495	S/ 2,532	S/ 2,674	S/ 2,609	S/ 2,605	S/ 2,491	S/ 2,595
Prendas de vestir	S/4,405	S/ 4,924	S/ 4,740	S/ 4,786	S/ 4,427	S/ 4,026	S/ 3,920	S/ 3,822
Total Textil Confecciones	S/6,905	S/ 7,419	S/ 7,272	S/ 7,460	S/ 7,036	S/ 6,631	S/ 6,411	S/ 6,417
PBI Textil Confecciones	1.66%	1.57%	1.43%	1.37%	1.23%	1.10%	0.99%	0.93%

Cifras expresadas en precios corrientes en millones de Nuevos Soles

Fuente: INEI (2018).

A partir de la tabla 8, se puede observar que incluso antes de la pandemia que afectó significativamente la economía en el 2020, a lo largo de los últimos años, la industria disminuye cada vez más su aporte al PBI del país. Ahora bien, a pesar de dicho panorama, se puede observar que el segmento textil mostraba un comportamiento de crecimiento explicado principalmente por la calidad de la materia prima que produce el país, teniendo como elementos representativos la fibra de alpaca y el algodón fino. Mientras que el segmento prendas de vestir presenta un comportamiento negativo a lo largo de los últimos años.

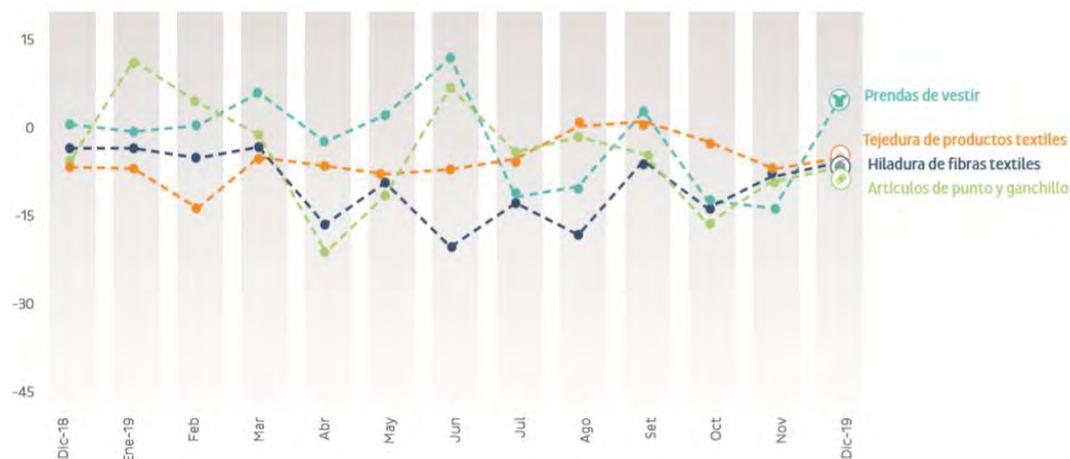
A razón de la tendencia mencionada en el párrafo anterior, el Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior de la Cámara de Comercio de Lima (IDEXCAM) realizó una investigación sobre el comportamiento del subsector Confecciones durante el periodo 2009 al 2015, en el que se identificó que el Perú ha sido desplazado en los principales mercados de destino por países como Bangladesh, India, Pakistán, Nicaragua y Guatemala (Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, 2016). Entre las causas de tal desplazamiento, se identificó que pese a que el país muestra un mayor índice de competitividad<sup>3</sup> en comparación a los países mencionados, el Perú posee debilidades en términos de infraestructura, eficiencia del mercado

<sup>3</sup> Según el Índice de Competitividad del World Economic Forum (WEF). Periodo 2015 - 2016

laboral, sofisticación de los negocios e innovación (Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, 2016) (ver Anexo G).

Por otro lado, en cuanto a la producción del sector, seguidamente se presenta la variación porcentual del índice de volumen físico presentado en el reporte de producción manufacturera del Ministerio de la Producción como se muestra en la figura 12.

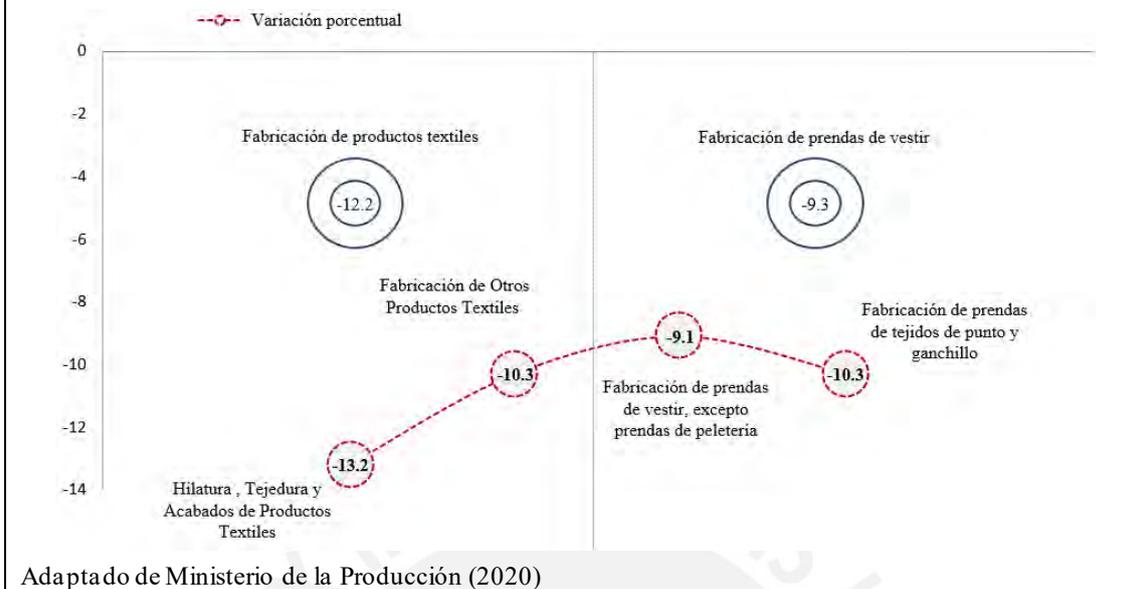
**Figura 12: Variación porcentual interanual del Índice de volumen físico Textil – Confecciones**



Fuente: Ministerio de la Producción (2019b)

Contrario a su comportamiento histórico, en diciembre de 2019, la producción del segmento industrial de prendas de vestir registró un aumento de 3.7% con relación a diciembre del año anterior, debido a la mayor demanda tanto interna como externa. Por su parte, la actividad industrial preparación e hilatura de fibras textiles presentó una caída de 5.6% en diciembre de 2019 en relación con lo registrado en el mismo periodo del 2018 (Ministerio de la Producción, 2019b). Ahora bien, anteriormente se hizo mención sobre el impacto negativo que generó la paralización de la Industria peruana en el desarrollo de la producción manufacturera a causa del Estado de Emergencia decretado por el Estado a mediados de marzo del 2020. Ciertamente, para el año actual, el sector Textil – Confecciones también se ha visto afectado de manera significativa, experimentando una caída importante de -12.2% y -9.3% en la fabricación de productos textiles y prendas de vestir respectivamente.

**Figura 13: Promedio de variación porcentual anual del Índice de volumen físico Textil – Confecciones (Ab18-Mz19) (Ab19-Mz20)**



Si bien la coyuntura actual ha perjudicado la producción del sector, se considera que la situación de pandemia es una oportunidad para impulsar la transformación del modelo de negocio de las organizaciones hacia la Industria 4.0. Ello debido a que la situación visibiliza no solo las deficiencias, sino también la necesidad de emprender una reforma tecnológica que permita seguir operando bajo las nuevas condiciones. En ese sentido, cabe mencionar que el sector se encuentra conformado principalmente por PyMES que presentan dificultades en cuanto a sus sistemas de información y comunicación.

Continuando con lo mencionado en el párrafo anterior, Alferez, Berrocal, Meza y Silveira (2015) exponen dichas limitaciones resaltando el hecho de que las empresas no cuentan con avanzados sistemas de información y la mayoría de ellas presentan problemas en sus procesos productivos por falta de una adecuada planificación. Asimismo, los autores mencionan que dichas empresas no realizan una evaluación de su capacidad de producción, lo que genera que en ocasiones excedan sus costos estimados; además se observa que no cuentan con procesos estándares de producción, por lo que presentan dificultades en la identificación y control de sus operaciones productivas. Por último, se menciona que no cuentan con un registro adecuado de los pedidos y tampoco con información ordenada de los insumos o servicios necesarios para cada etapa de producción.

Con respecto a la maquinaria del sector, a continuación, se presenta información sobre la inversión en importación y exportación de maquinaria textil que se realizó en el Perú durante el

año 2018, de acuerdo con cifras obtenidas de Trademap<sup>4</sup> como se muestra en la tabla 9. En general, el Perú realiza actividades de importación y exportación en cuanto a maquinarias textiles ubicándose en el puesto 36 y 54 de 220 países, respectivamente. Mientras que Brasil, uno de los más grandes competidores en América Latina, se encuentra en las ubicaciones 17 y 12 correspondientemente (International Trade Center [ITC, 2019]).

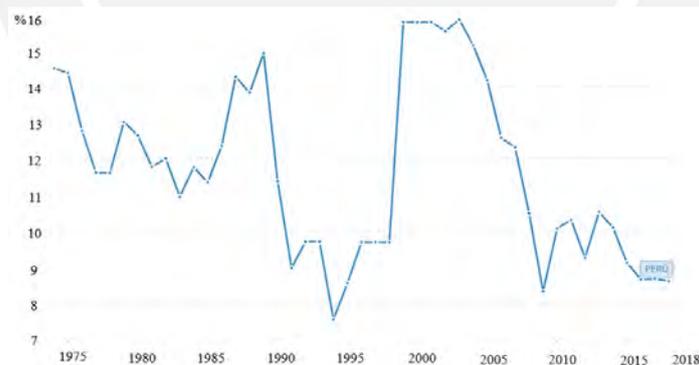
**Tabla 9: Importación y exportación de maquinaria textil en el Perú**

Indicador	Importación	Exportación
Puesto a nivel mundial en importación de maquinaria	36	54
Valor importando en maquinaria (miles de USD)	10 107	344
Participación en las importaciones mundiales (%)	0,2	0

Adaptado de International Trade Center (2019)

Además, en cuanto a la industrialización global del sector, cabe mencionar que de acuerdo con la data histórica elaborada por el Banco Mundial (2018), el sector Textil – Confecciones peruano tuvo su mayor aporte al valor agregado de la industrialización en el año 2003; no obstante, a partir de dicho periodo, empezó a tener una prolongada decreciente participación según se puede observar en la figura 14. Ello refleja la falta de inclusión de tendencias tecnológicas que, cabe resaltar, actualmente se enfocan en la Industria 4.0.

**Figura 14: Textil – Confecciones Perú: % del valor agregado en la industrialización**



Fuente: Banco Mundial (2018)

Por otra parte, en cuanto al mercado, cabe mencionar la existencia de dos tipos de producciones definidas dentro del sector: la que provee el mercado extranjero y la que provee al

<sup>4</sup> Una herramienta desarrollada por el Centro de Comercio Internacional (ITC, siglas en inglés) que tiene un alcance de datos comerciales anuales de 220 países y territorios. La herramienta provee información sobre indicadores de desempeño de las exportaciones, demanda internacional, mercados alternativos y sobre el papel de los competidores del comercio a través de una búsqueda por código arancelario. El código arancelario empleado para obtener el ranking de países exportadores de maquinaria textiles es 8445, según SUNAT. Para más información: <https://bit.ly/3bbEeT1>

mercado local; por lo general, las grandes empresas se caracterizan por ser netamente exportadoras y por encontrarse altamente integradas en sus etapas productivas, lo que facilita la respuesta rápida y la entrega oportuna al cliente extranjero. En contraste, la pequeña empresa trabaja principalmente para el mercado local, con excepción de aquellas que exportan prendas y complementos de vestir en base a alpaca y pelos finos (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2008). En lo que concierne a las empresas exportadoras, la Asociación Peruana de Técnicos Textiles (APTT, 2020b) publicó el ranking de empresas durante el año 2019; a continuación, se presentan las principales.

**Tabla 10: Ranking de empresas exportadoras del sector Textil – Confecciones (2019)**

RUC	EXPORTADOR	Enero - Diciembre 2019 (FOB US.\$)	Participación US\$ FOB 2019	Crecimiento en valor 2019-2018
20501977439	DEVANLAY PERU S.A.C.	79,702,586	5.8%	-1.3%
20100192650	MICHELL Y CIA S.A.	72,704,085	5.3%	-18.0%
20376729126	SOUTHERN TEXTILE NETWORK S.A.C.	56,172,374	4.1%	11.2%
20293847038	TEXTILES CAMONES S.A.	55,440,094	4.1%	-3.7%
20101362702	CONFECCIONES TEXTIMAX S A	54,934,458	4.0%	10.3%
20550330050	TEXTILE SOURCING COMPANY S.A.C	52,499,247	3.8%	12.7%
20100199743	INCA TOPS S.A.	50,598,263	3.7%	-6.4%
20100064571	INDUSTRIAS NETTALCO S.A.	50,166,350	3.7%	-17.0%
20418108151	HILANDERIA DE ALGODON PERUANO S.A.	42,880,150	3.1%	11.6%
20100047056	TOPY TOP S A	41,573,548	3.0%	-16.5%
20508108282	GARMENT INDUSTRIES S.A.C.	38,999,423	2.9%	7.9%
20104498044	TEXTIL DEL VALLE S.A.	37,142,036	2.7%	53.4%

Fuente: APTT (2020b)

En términos comerciales, las exportaciones se constituyen como un espacio referente para potenciar la competitividad del sector, siendo Estados Unidos el destino principal de la producción peruana (BCRP, 2018; Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2019; Posada, 2018). De acuerdo con datos del reporte mensual de comercio elaborado por el (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2019); las exportaciones de los productos textiles se vendieron a 113 mercados de destino, destacando el crecimiento en valor de exportación de los polos de algodón (31,2%) y el pelo fino cardado de alpaca (17,9%). A continuación, en la figura 15 se presenta el detalle de los principales destinos de exportación peruana.

**Figura 15: Principales destinos de Exportación (agosto 2018 – julio 2019)**



**US\$ Millones** 1 417

**Nº de destinos** 119

**% por continente**

América	80%
Europa	14%
Asia	5%

Adaptado de Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2019)

Además, vale la pena mencionar que la exportación del sector Textil – Confecciones representa un elemento clave para el desarrollo de la industria peruana ya que, como se mencionó, tiene un significativo efecto multiplicador en el incremento de actividades relacionadas durante el proceso (Giulfo et al., 2011). Sin embargo, como ya se viene mencionando, la participación del país en el mercado global ha ido cayendo a consecuencia de factores como la débil demanda internacional, la mayor competencia con países de bajos costos de producción y la baja innovación en cuanto a la generación de valor agregado en el Perú (Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, 2016; Ministerio de la Producción, 2015; Posada, 2018). Seguidamente, se presenta los 10 principales exportadores e importadores del sector, según datos de la Organización Mundial del Comercio (2019).

**Tabla 11: Principales exportadores e importadores del sector Textil-Confecciones, 2018**

TEXTILES		PRENDAS DE VESTIR	
EXPORTADORES	IMPORTADORES	EXPORTADORES	IMPORTADORES
1. China	1. Unión Europea	1. China	1. Unión Europea
2. Unión Europea	2. Estados Unidos de América	2. Unión Europea	2. Estados Unidos de América
3. India	3. China	3. Bangladesh	3. Japón
4. Estados Unidos de América	4. Vietnam	4. Vietnam	4. Hong Kong, China
5. Turquía	5. Bangladesh	5. India	5. Corea
6. Corea	6. Japón	6. Turquía	6. Canadá
7. Taipei China	7. Hong Kong, China	7. Hong Kong, China	7. China
8. Vietnam	8. Indonesia	8. Indonesia	8. Federación de Rusia
9. Pakistán	9. México	9. Camboya	9. Suiza
10. Hong Kong, China	10. Turquía	10. Estados Unidos	10. Australia

Adaptado de Organización Mundial del Comercio (2019)

En la entrevista realizada a E. Arnillas (comunicación personal, 8 de julio, 2020), dueño de la empresa Kisco SA dedicada a la venta soluciones sostenibles para las tintorerías textiles de las grandes empresas exportadoras del país, concuerda en mencionar que uno de los principales problemas en el sector es la falta de productividad y competitividad. A partir de sus 25 años de experiencia en el mercado menciona que, desde la historia de creación de las empresas exportadoras, estas no están diseñadas para abastecer el mercado peruano ya que cuentan con una infraestructura enfocada a satisfacer las exigencias de calidad que requiere el mercado internacional; lo que origina altos costos que no son competitivos en el mercado local. No obstante, como ya se viene señalando, debido a la suma de todos los factores antes mencionados sumado a la informalidad del sector, sus ventas van en continuo decrecimiento. En lo que respecta al mercado local, Arnillas (comunicación personal, 8 de julio, 2020) resalta el hecho de que el Perú importa producción de países como Bangladesh y China, cuyos costos son inferiores a los costos de las empresas que proveen al mercado peruano e impiden un mayor desarrollo de estas. Por tanto, menciona que dicha dinámica, eventualmente, ocasiona que las empresas peruanas del sector sigan perdiendo competitividad.

A nivel mundial en el sector Textil – Confecciones, se han elevado las normas de calidad; los diseñadores, las marcas internacionales, los productores y comercializadores están imponiendo especificaciones cada vez más exigentes; lo que obliga a la industria a desenvolverse en escenarios cada vez más competitivos en donde la calidad, los precios, la diferenciación de productos, un apropiado nivel tecnológico, el servicio, el cumplimiento de estándares productivos, de medio ambiente y de responsabilidad social entre otros factores, influirán en su permanencia y desenvolvimiento (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2008).

De manera anticipada, otros países como Alemania y Estados Unidos ya se sumaron hacia la transformación 4.0 para responder ante las crecientes exigencias del mercado. Por ello, basados en la preocupación de no perder participación en la economía global dentro de un sector tan significativo y símbolo de la cultura peruana, la presente investigación contribuye a incrementar la productividad y competitividad del país a través de la inclusión de la Industria 4.0 en el sector Textil – Confecciones. Por su parte, Posada (2018), director ejecutivo de IDEXCAM, concuerda en advertir sobre la necesidad de innovar en el sector no tradicional<sup>5</sup> y la importancia de generar mayor valor agregado para el desarrollo y sostenibilidad de la industria incrementando, una vez más, la competitividad y productividad del Perú.

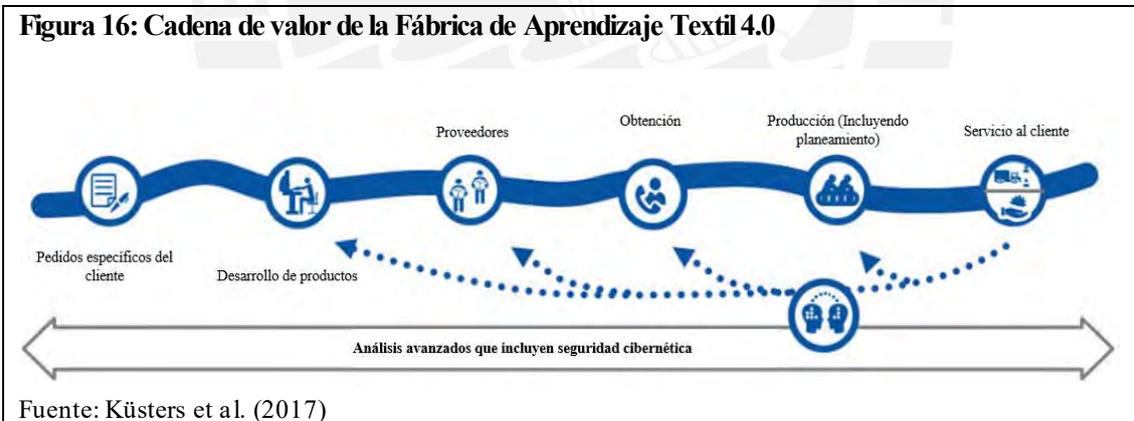
---

<sup>5</sup> Incluye los sectores pesqueros, químico, metalmeccánica, minería no metálica, joyería, textil y agropecuario.

## 4.2. Industria 4.0 en el Sector Textil – Confecciones

La Primera Revolución Industrial impulsó el sector Textil – Confecciones gracias a la invención del telar de lanzadera volante, la hiladora y la mula de hilar para la fabricación manual de telares; la segunda revolución supuso la creación de equipos a vapor y electricidad; y la tercera comprometió la automatización de procesos en serie. Por su parte, la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 implica la digitalización y gestión de datos para optimizar la eficiencia y rapidez de la producción garantizando velocidad, productividad, flexibilidad y calidad dentro del sector (Chávez, 2019). En la actualidad, la aplicación de tecnología 4.0 conlleva innovaciones que transforman el crecimiento de la industria, poniendo en evidencia su alta capacidad innovadora a través de la inclusión de tecnología en aspectos como maquinaria, materia prima, productos inteligentes, entre otros.

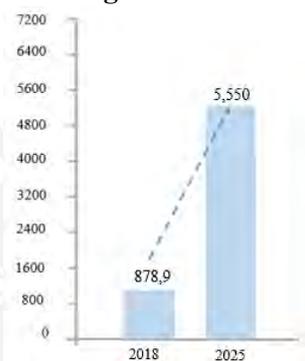
Las empresas dudan en iniciar su proceso de transformación digital debido a las barreras de implementación que se han mencionado a lo largo de la investigación. Por ello, con el fin de ayudar a los fabricantes textiles a emprender su transformación, el Instituto de Tecnología Textil de la Universidad alemana RWTH emprendió la creación de una Fábrica de Aprendizaje Textil 4.0 con la que se pretende mostrar cómo operará una empresa del futuro a largo de toda su cadena de valor.



La figura 16 muestra una cadena de valor integrada que abarca los temas de Industria 4.0 no solo centrado en las soluciones relacionadas con la fabricación, sino en todas las funciones y departamentos relacionados con las operaciones (Küsters et al., 2017). Incluso, algunos autores mencionan que los sistemas modernos de información hacen posible estructurar de manera adecuada el diseño de una cadena de suministro virtual en condiciones de intercambio y cooperación de información, lo que responde a las necesidades ambientales del siglo 21 dentro de la industria (Cooper, 2010).

Por otro lado, cabe mencionar que existen extraordinarias innovaciones en el ámbito de textiles inteligentes. Se trata de telas avanzadas desarrolladas con tecnología novedosa que son utilizadas en varias aplicaciones para mejorar el rendimiento y agregar valor estético, cuyo nicho se encuentra en sectores de moda de alta gama, médico, militar y de defensa. Sin embargo, la industria está experimentando un cambio positivo en el que se pronostica que el tamaño global del mercado pasará de 878,9 millones de dólares en el 2018 a expandirse a 5,55 mil millones de dólares para el 2025 como se observa en la figura 17, debido principalmente a la penetración de teléfonos y otros dispositivos inteligentes de alta tecnología (Grand View Research, 2019).

**Figura 17: Mercado Global de Textiles Inteligentes en millones de dólares**



Adaptado de Grand View Research (2019)

Existe una variedad de aplicaciones en el ámbito de textiles inteligentes; por ejemplo, se encuentran distintos tipos según su comportamiento: (1) termo activos, que reaccionan al calor cambiando de color, conductividad o forma; (2) electroactivos, que pueden variar su color, emitir luz, cambiar de forma o aumentar su temperatura; (3) bioactivos, que contienen fibras beneficiosas para la salud como por ejemplo hidratantes, aislantes, entre otras. Algunos países como China, Corea del Sur y Japón producen textiles con usos funcionales teniendo aplicaciones en el ámbito de la medicina al incorporar microcápsulas que dosifican medicamentos (Bustamante, 2018). Por otro lado, en cuanto a su estructura, al igual que el sector textil tradicional global, el mercado de textiles inteligentes también cuenta con un gran número de PyMES; si bien los principales actores son las grandes empresas, ellas no abarcan la totalidad de la cadena de valor y a menudo compran tecnología de la PyME que se enfoca en Investigación y Desarrollo, por lo que su rol en el mercado de textiles también es significativo (Corporación Ruta N, 2015).

En cuanto a innovaciones en el marco de la industria, vale la pena mencionar a ITMA, la exposición internacional más consolidada del mundo donde se reúnen distintas empresas y actores relevantes del sector, celebrada cada 4 años desde 1951. En ITMA 2019 se incluyeron productos y tecnologías que aprovechan el Internet de las cosas por parte de 1717 expositores de 45 países (Redacción Interempresas, 2019). En el caso de Alemania, uno de los principales expositores,

Solís (2018) afirma que entre los factores de éxito de su maquinaria textil se encuentran la eficiencia, flexibilidad y calidad de las mismas, por lo que las máquinas alemanas brindan un ahorro considerable en energía y materia prima. Algunas de las innovaciones tecnológicas que introducen se refleja en la creación de sistemas de ID para identificar operarios, trasladando la información de las máquinas a dispositivos móviles a través de una aplicación que permite analizar la productividad de esta. De igual manera, se le atribuye la introducción de cámaras para máquinas que permiten monitorear el movimiento de los elementos del tejido y detectar fallas (Solís, 2018).

Otro tipo de aplicaciones consisten en mejoras de procesos simulando parámetros a través de mecatrónica y robótica avanzada que permite la producción eficiente en un solo paso o la integración de textiles complejos con aplicaciones de impresión 3D. Por el lado de la confección, actualmente es posible desarrollar colecciones personalizadas en 3 horas reduciendo el plazo de 45 días que eran necesarios anteriormente, ello debido a la velocidad y eficiencia que genera la digitalización (Chávez, 2019). En definitiva, existen un amplio abanico de innovaciones que revolucionan el sector Textil – Confecciones y no han sido mencionadas en este apartado, dicho tema en específico es materia de investigación que es extensamente abordado en otros estudios.

## **5. Presentación de las empresas caso de estudio**

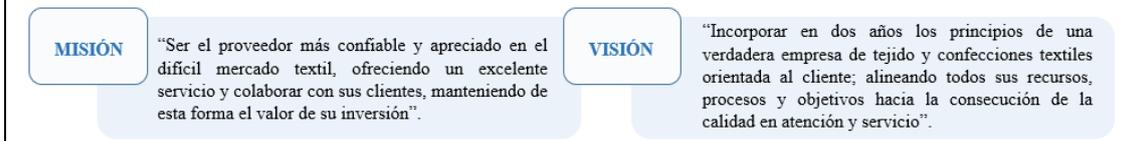
Tal como se menciona en el problema de investigación, el presente trabajo tiene como sujeto de estudio a dos empresas del sector Textil-Confecciones. En primer lugar, se describirá a la mediana empresa Confecciones Polcyr S.R.L; y, en segundo lugar, se detallará como segunda empresa referente en términos de competitividad, control de procesos, capacidad operativa y comunicación con proveedores y clientes a la empresa Textil del Valle, la cual es una de las principales organizaciones productoras del sector Textil – Confecciones en el Perú. A continuación, se describen ambas organizaciones.

### **5.1. Confecciones Polcyr S.R.L.**

Confecciones Polcyr S.R.L, en adelante Polcyr, es una mediana empresa de trayectoria familiar fundada por Edmundo Cabrera en el año 1999. En la actualidad, la empresa es dirigida por el hijo Jorge Cabrera y se encuentra orientada a la fabricación textil de artículos publicitarios como polos, gorros, casacas, entre otros; además, se ha incursionado en la comercialización de tela. En cuanto a sus instalaciones, Polcyr cuenta con dos establecimientos ubicados en la Prolongación Huánuco 2642 – La Victoria y otro en la Calle Los Eucaliptos 361 – San Juan de Lurigancho. En el primer local se encuentran las áreas de administración, almacén, corte, confección y abastecimiento de satélites; mientras que, en el segundo se ubican las áreas de tejido, hilado y estampado. Cabe mencionar que, si bien la empresa cuenta con dichos procesos como

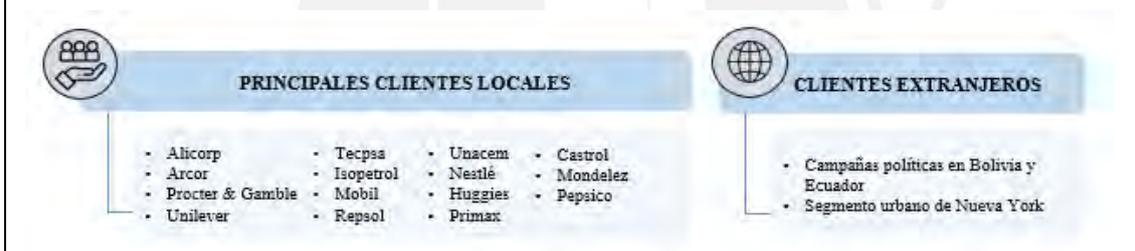
parte de su proceso de producción, también terceriza servicios por motivos de capacidad operativa y tiempo de respuesta (J. Cabrera, comunicación personal, 25 de abril, 2020).

**Figura 18: Misión y visión de Polcyr SRL**



Polcyr busca ser el proveedor más confiable dentro del mercado local textil ofreciendo un servicio basado en la colaboración con sus clientes. Si bien la empresa no tiene una estrategia concretamente definida, sus objetivos buscan responder a grandes volúmenes de producción continua, razón por la cual manejan órdenes de compra anuales y quinquenales, en el caso de algunos clientes. Asimismo, en cuanto a las ventas que genera, Polcyr alcanza cifras anuales entre 12 y 14 millones de soles, de los cuales el 90% es generado a partir de las ventas locales y el otro 10% proviene de las exportaciones realizadas 2 o 3 veces al año con destino a Estados Unidos, Ecuador y Bolivia (J. Cabrera, comunicación personal, 25 de abril, 2020).

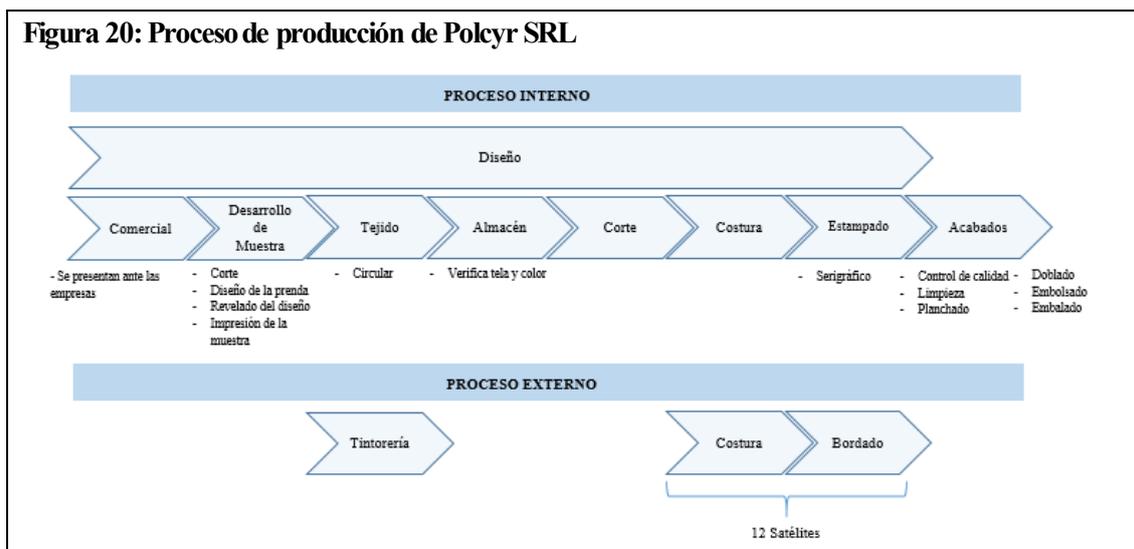
**Figura 19: Clientes de Polcyr SRL**



En sus inicios, la empresa se especializó en la producción de polos; sin embargo, a medida que se incrementaron las necesidades de crecimiento, la empresa ha diversificado su cartera de productos incluyendo entre sus líneas de negocio la comercialización de telas. Asimismo, es importante resaltar que Polcyr ha desarrollado alianzas estratégicas que aseguran su diversificación de productos, tiempo de respuesta y capacidad operativa. En ese sentido, la empresa mantiene una significativa relación comercial con Tejidos Jorgito, un proveedor clave de materia prima que abastece al emporio comercial de Gamarra; además, tiene una estrecha relación comercial con servicios externos que contratan denominados “satélites”. Con respecto a estos últimos, vale la pena destacar la relación estable y exclusiva que se mantiene con 12 de ellos, lo que implica una comunicación y gestión constante realizada a través de medios informales como llamadas y aplicaciones de WhatsApp (J. Cabrera, comunicación personal, 25 de abril, 2020).

Por otro lado, en cuanto al planeamiento de su producción, este se realiza con base al stock de materia prima y se maneja como criterios de abastecimiento las órdenes de compra de largo plazo y la experiencia del mercado; es decir, la empresa se abastece para cada uno de sus clientes con los que ya tienen contratos pactados y para las telas o productos que tienen mayor venta. En caso de tratarse de un nuevo cliente, los precios son bajos y el proceso se maneja según el proceso de la figura 20.

**Figura 20: Proceso de producción de Polcyr SRL**

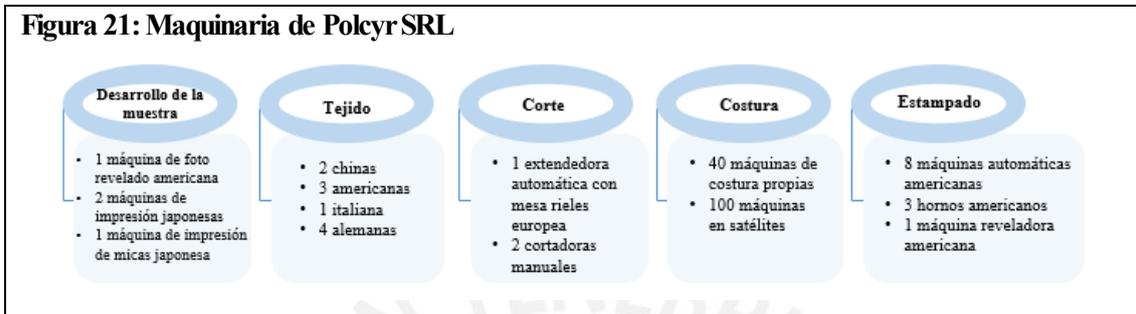


Es importante señalar que Polcyr cuenta con instalaciones y recursos para ejecutar su producción de manera interna, pero a su vez subcontrata completamente algunos procesos como el teñido; y, en la mayoría de las ocasiones, también la costura y el bordado. En el caso específico de tintorería, es un servicio que se maneja de manera completamente externa, aunque cabe mencionar que mantienen un acuerdo de preferencia en cuanto a la atención de los requerimientos de Polcyr. Por otro lado, en el caso del proceso de costura y bordado, la empresa cuenta con un taller propio en donde se desarrolla dicha actividad; no obstante, también terceriza el servicio a los “satélites” para aumentar su capacidad y tiempo de respuesta, realizando visitas de monitoreo una vez por semana (J. Cabrera, comunicación personal, 13 de junio, 2020).

En ese sentido, cuando se trata de un cliente nuevo, el flujo inicia cuando los asesores de venta se presentan ante las empresas para solicitar el poder realizar una muestra; luego, para desarrollarla, trabajan en conjunto el diseñador, el revelador, el cortador y la persona encargada de la impresión para desarrollar el modelo solicitado por el cliente. Una vez aprobada la muestra y emitida la orden de compra, se continúa con la producción y teñido de tela. En cuanto al área de tejido, cabe mencionar que antes de la coyuntura de la pandemia la producción de este se dividía en 50% para la venta y el otro 50% como insumo de producción interna; sin embargo, actualmente el 100% es destinado a la producción propia. Seguidamente, las telas se guardan en

almacén y desde ahí son derivadas al área de corte; el proceso de costura y/o bordado puede ser realizado por Polcyr o por los “satélites”. Luego, se continúa con el proceso de estampado realizando únicamente el tipo serigráfico y se culmina con el área de acabados. Por último, se resalta que el proceso de diseño es un aspecto fundamental que se encuentra involucrado en las distintas etapas de la producción (J. Cabrera, comunicación personal, 13 de junio, 2020).

**Figura 21: Maquinaria de Polcyr SRL**



En cuanto a la maquinaria de Polcyr, la empresa se preocupa en mejorar sus operaciones invirtiendo en máquinas que le permitan optimizar sus procesos y le brinden una ventaja competitiva en comparación con las demás empresas del sector local. Para el caso específico del área de costura, la empresa ha optado por ampliar su capacidad de producción a través de los recursos de los “satélites” fijos con los que trabajan; de esa manera, se contabiliza un total de 140 máquinas de costura a su disposición como se muestra en la figura 21. Asimismo, en la figura 22 se detalla la capacidad de producción diaria con la que cuenta Polcyr en las áreas involucradas para el proceso y se aprecia el significativo aumento que implica la producción de polos por parte de los “satélites”.

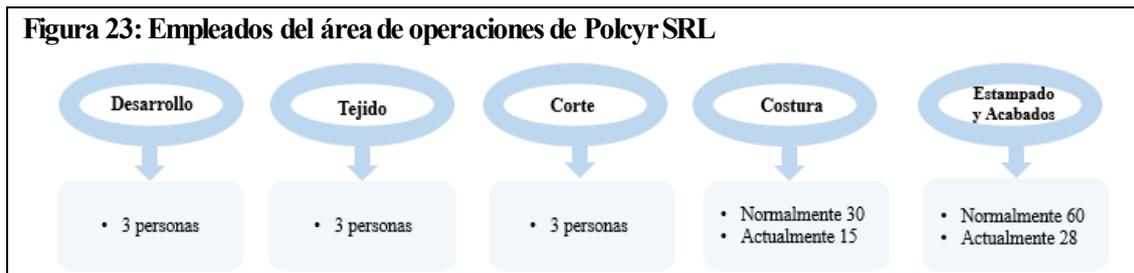
**Figura 22: Capacidad de producción diaria de Polcyr SRL**



En cuanto a la organización de Polcyr, el negocio es dirigido por el dueño y gerente general, Jorge Cabrera, quien se encuentra altamente involucrado en las actividades de la empresa. Además, se observa que las áreas de producción se encuentran claramente diferenciadas y, si bien manejan un número de trabajadores para cada una, estos pueden dar soporte a distintas áreas.

Asimismo, la Gerencia trabaja en conjunto con dos asesores de ventas Jackelyn Salazar y Edward Romero, quienes manejan las relaciones con los clientes desde hace varios años. Por su parte, los trabajadores de producción se requieren de forma variable según los volúmenes de venta; normalmente, son entre 60 y 70 personas que trabajan de manera fija; aunque actualmente el personal se ha reducido debido a la coyuntura de pandemia. Por último, se menciona que la contratación de estos se da con base a las referencias de los mismos trabajadores (J. Cabrera, comunicación personal, 13 de junio, 2020).

**Figura 23: Empleados del área de operaciones de Polcyr SRL**



### 5.1.1. Análisis Interno de Polcyr SRL

A continuación, se presenta una tabla resumen con el análisis interno de la organización con base en la información obtenida en las entrevistas semiestructuradas realizadas al gerente general de la organización.

**Tabla 12: Fortalezas y debilidades de Polcyr SRL**

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apalancamiento operativo con “satélites” que le permiten aumentar su capacidad productiva y capacidad de respuesta.</li> <li>• Relación de largo plazo con proveedor clave del sector textil que asegura el abastecimiento de telas. Además, cuenta con la producción de tela proveniente del área de tejido propia de Polcyr</li> <li>• Cuenta con contratos comerciales de largo plazo con clientes corporativos que aseguran la demanda en ventas.</li> <li>• Cuenta con 3 amplios locales que le permiten seguir invirtiendo en crecimiento operativo</li> <li>• Cuenta con maquinaria moderna en el área de estampado y la gerencia posee un sentido de inversión en tecnología</li> <li>• Realiza inversión en publicidad que le permite capturar ventas en época de campañas en países de la región como Ecuador y Bolivia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cuenta con una estrategia definida ni objetivos medibles como organización</li> <li>• No tiene trazabilidad en su proceso de producción</li> <li>• Limitado monitoreo de producción y gestión de clientes debido a la falta de un sistema ERP y CRM</li> <li>• No cuenta con sistemas de información en tiempo real sobre la producción de los talleres</li> <li>• No existe recolección ni análisis de data de sus procesos que le permita gestionar de una manera más eficiente sus recursos</li> <li>• No existe precisión en el stock de almacén, ya que los inventarios son realizados de manera manual.</li> <li>• No tiene integrado el intercambio de información entre áreas</li> <li>• El <i>know how</i> de la organización se encuentra concentrado en un grupo limitado de personas.</li> </ul>

### 5.2. Textil del Valle S.A.

La empresa Textil del Valle SA fue fundada en el año 1987 y se dedica a la fabricación de prendas de vestir de alto valor agregado para el mercado extranjero. Se constituye como una

gran empresa con una facturación anual promedio de 60 millones de dólares (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020). En cuanto a sus instalaciones, cuenta con oficinas en Lima, donde se maneja el área administrativa, comercial y logística; además de poseer una moderna fábrica de 1'100,000 pies cuadrados ubicada en la ciudad de Chincha – Ica.

**Figura 24: Misión y visión de Textil del Valle SA**



Adaptado de Textil del Valle (2020)<sup>6</sup>

Actualmente, la empresa posee un enfoque estratégico basado en la diferenciación a través de la sostenibilidad en sus procesos y productos. Recientemente, la empresa ha experimentado una serie de transformaciones a partir de la llegada del nuevo gerente general Juan José Córdova, quien desde el 2018 viene impulsando el enfoque de innovación, digitalización y sostenibilidad (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020). En ese sentido, la organización ha realizado inversiones tales como la construcción de paneles solares, una planta de osmosis inversa, una planta de reciclaje, el desarrollo de un área de estampados digitales, entre otros (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020). Asimismo, cabe resaltar que Textil del Valle cuenta con importantes certificaciones como el ISO 9001 y el ISO 14001 que aseguran la calidad en sus procesos y la responsabilidad en cuanto a su sostenibilidad ambiental.

Marcos Chiok (comunicación personal, 28 de mayo, 2020), gerente de manufactura, destaca los beneficios obtenidos por el valor diferencial basado en la sostenibilidad; ya que, cuenta con una sólida cartera de clientes en distintos países y de marcas reconocidas como se muestra en la figura 25. Además, actualmente Textil del Valle se encuentra en negociaciones con la marca Patagonia, una marca ícono en sostenibilidad que todavía no tiene relación comercial con ninguna empresa peruana del sector. Por otro lado, menciona que la organización, al igual que las demás empresas exportadoras del sector, vende a clientes exigentes en cuanto a la calidad del producto; pero, se resalta el hecho de que los clientes y proveedores de Textil del Valle también integran el factor de sostenibilidad como parte de su estrategia organizacional, lo que contribuye a consolidar su propuesta de valor diferencial ante la competencia.

<sup>6</sup> Para más información revisar <https://www.textildelvalle.pe/>

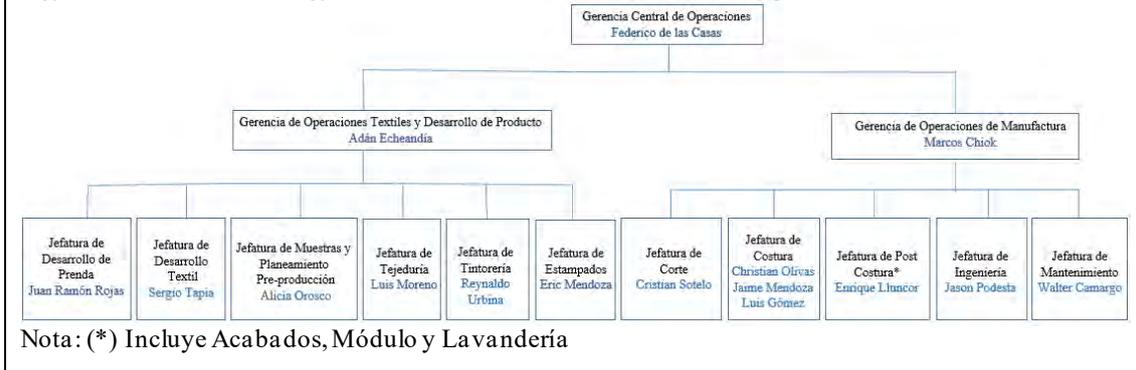
**Figura 25: Clientes de Textil del Valle SA**



Dicho enfoque de sostenibilidad y de mejora tecnológica de Textil del Valle también es reconocida por sus principales proveedores de químicos, colorantes y maquinaria textil. Entre ellos se encuentran las organizaciones Archroma Perú, Kisco Perú y CHT Perú; para quienes Textil del Valle representa el 35% (C. Calonge, comunicación personal, 14 de julio, 2020), el 10% (E. Arnillas, comunicación personal, 8 de julio, 2020) y el 8% de sus ventas respectivamente (E. Siekmann, comunicación personal, 10 de julio, 2020).

En cuanto a sus operaciones, Textil del Valle trabaja con tres pilares: costo, calidad y tiempo de entrega; con el objetivo de generar ahorro a través de la eficiencia, incrementar la confiabilidad del producto y lograr el cumplimiento de los tiempos pactados. Asimismo, cabe resaltar que el planeamiento de la producción se realiza bajo pedido, por lo que las operaciones se ejecutan a partir de las coordinaciones pactadas entre el cliente y el área comercial (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020). Si bien existen diversas áreas de soporte involucradas en el proceso de manufactura, específicamente la estructura del área central de operaciones puede observarse en la figura 26.

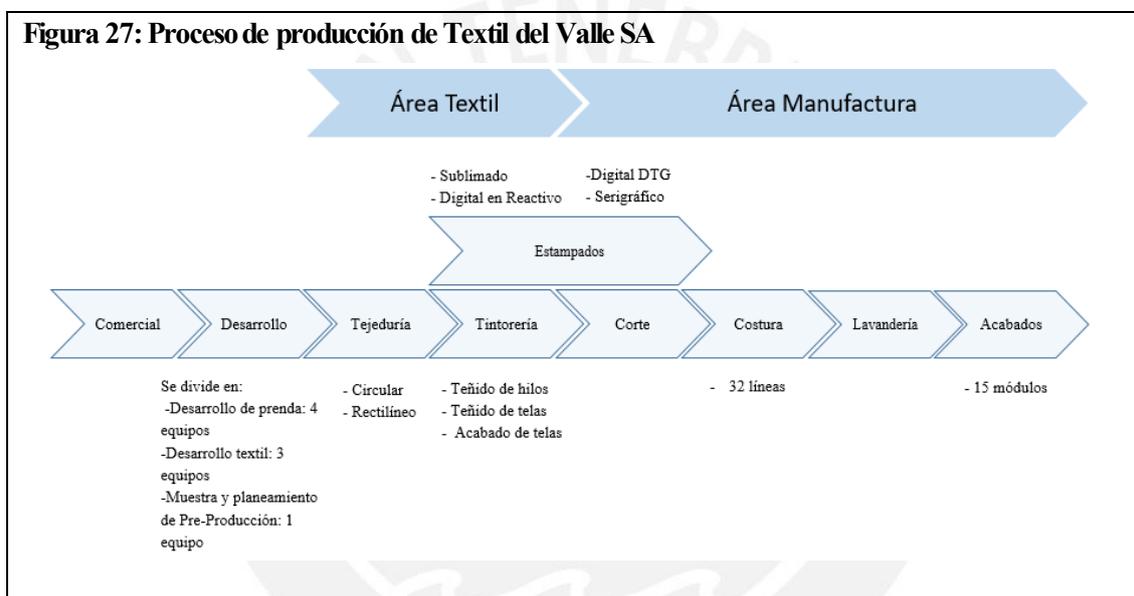
**Figura 26: Estructura Organizacional de la Gerencia Central de Operaciones de Textil del Valle**



Por otra parte, en cuanto al flujo de la producción, como se muestra en la figura 27, una vez confirmado el pedido en coordinación con el área comercial, el proceso inicia en el área de desarrollo de producto, donde se detallan las especificaciones técnicas y se elaboran las muestras para la aprobación del cliente (J. Rojas, comunicación personal, 27 de mayo, 2020). Luego, el

proceso continúa en el área de tejeduría de punto en donde se realizan dos tipos de tejido: circular (elaboración de polos) y rectilíneo (elaboración de complementos) (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020). Seguidamente, en el área de tintorería se encuentran los procesos de teñido de hilos, teñido de telas, que es dónde se ha realizado la mayor inversión en los últimos años, y el proceso de acabados de telas. En cuanto al proceso de estampado, es importante mencionar que es un área recientemente implementada e incluye los 4 tipos: (1) sublimado, (2) digital en reactivo, (3) digital *direct to garment* (DTG) y (4) serigráfico. Más aún, se resalta que Textil del Valle es la única empresa del sector peruano que ofrece los 4 tipos de estampado a través de máquinas de alta producción (E. Mendoza, comunicación personal, 28 de mayo, 2020). Finalmente, continúan los procesos de corte, costura, lavandería y acabados.

**Figura 27: Proceso de producción de Textil del Valle SA**



En cuanto a sistemas, cabe mencionar que Textil del Valle cuenta con un área interna de TI y manejan un sistema de Ejecución de Fabricación (MES<sup>7</sup>), un sistema de Planificación de Recursos (ERP<sup>8</sup>) peruano SIGE<sup>9</sup>, un sistema de Adquisición de Datos (PDA<sup>10</sup>), un sistema de Recopilación de Datos de Máquinas (MDC<sup>11</sup>) y un sistema de Diseño Asistido por Computadora

<sup>7</sup> *Manufacturing Execution System*. Sistema de Ejecución de fabricación utilizado en la fabricación para rastrear y documentar la transformación de materias primas en productos terminados.

<sup>8</sup> *Enterprise Resource Planning*. Sistema de planificación de recursos empresariales que integra y maneja la producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad de la empresa.

<sup>9</sup> Para más información: <https://www.sige.pe/>

<sup>10</sup> *Production Data Acquisition*. Sistema de adquisición de datos de producción que tiene por objetivo recopilar automáticamente la información que se genera durante el procesamiento de las órdenes de producción y las operaciones asociadas.

<sup>11</sup> *Machine Data Collection*. Sistema de recopilación de datos de máquinas que incluye toda la información que describe el rendimiento actual de la máquina (tiempos, velocidades, cantidades producidas)

(CAD<sup>12</sup>) para administrar sus recursos, procesos y contar con un sistema integral de gestión empresarial específico para la industria textil (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020). En el aspecto tecnológico, durante los últimos años, Textil del Valle ha tenido un crecimiento importante en adquisición de maquinarias y optimización de procesos, llegando incluso a realizar grandes inversiones para atender los requerimientos de un cliente en específico (C. Calonge, comunicación personal, 14 de julio, 2020). Seguidamente, en la tabla 13 se presenta el detalle de la maquinaria de Textil del Valle en los procesos antes mencionados.

**Tabla 13: Maquinaria de Textil del Valle SA**

Área	Máquinas
Jefatura de Desarrollo de Prendas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computadoras</li> <li>• El área de muestras tiene su propia área de corte, bordado, máquinas de coser (150) y estaciones de vapor, por lo que es completamente independiente de la producción.</li> </ul>
Jefatura de Tejeduría	<p>Tejeduría circular:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 48 máquinas para la producción de polos. Marcas Mayer, Terrot, Vanguard.</li> </ul> <p>Tejeduría rectilínea:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 65 máquinas para complementos como cuellos, puños y pretinas. Marcas Matsuya, Propti, Stoll y Cixing.</li> </ul> <p>Acabado de tela:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 secadoras marca Santex y Monfort</li> <li>• 2 ramas marca Monfort</li> <li>• 1 compactadora marca Sperotto</li> <li>• 1 compactadora marca Santex</li> <li>• 1 máquina de corte y apertura de tela marca Bianco</li> <li>• 1 máquina para gamuza marca La fer</li> <li>• 1 máquina para perchado marca La fer</li> </ul>
Jefatura de Tintorería	<p>Teñido de hilo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 máquinas marcas Scholl y Loris Bellini</li> </ul> <p>Teñido de tela:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 máquinas grandes de 100 a 400kg marcas Brazzoli y LabPro</li> <li>• 12 máquinas pequeñas de 5 a 50kg marcas Brazzoli LabPro</li> </ul>
Jefatura de Estampados	<p>Sublimado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 máquinas de 20 a 25mts por hora c/u marca Epson</li> <li>• 1 máquina industrial de alta producción de 130 a 230mts por hora marca MS</li> <li>• 2 calandras marcas Monti Antonio modelo 850 y Salvadé</li> </ul> <p>Estampado Digital en Reactivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 máquina marca Epson Monnalisa Evopre 16</li> <li>• 1 vaporizadora marca Salvadé</li> </ul> <p>Digital Direct to Garment (DTG):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 máquina marca Kornit (instalada en setiembre del 2019)</li> </ul> <p>Serigráfico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 máquinas de estampado marca San Roque</li> <li>• 1 máquina de muestra marca Anatol</li> <li>• 1 horno San Roque</li> <li>• 2 planchas</li> </ul>

<sup>12</sup> *Computer-aided Design*. Diseño asistido por computadora que permite la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño.

**Tabla 13: Maquinaria de Textil del Valle S.A. (continuación)**

Área	Máquinas
Gerencia de Operaciones de Manufactura	<p>Jefatura de Corte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 extendedoras automáticas marca Lectra</li> <li>• 2 cortadoras automáticas marcas Morgan y Gerber</li> <li>• 2 fusionadores LP900 y 3 fusionadoras HP450 marca Hachima</li> <li>• 1 cortadora automática marca Svgea (para tapetes)</li> <li>• 3 cortadoras circulares marca Rimoldi y 1 marca Mariofono</li> <li>• 2 guillotinas para cortar tapete</li> <li>• 1 corta collareta marca Macpi</li> <li>• 23 máquinas cortadoras manuales marca Eastman</li> <li>• 2 ploters marca Morda y Lectra</li> </ul> <p>Jefatura de Costura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1466 máquinas de coser europeas y asiáticas</li> <li>• 38 atracadoras automáticas</li> <li>• 28 botoneras programables</li> </ul> <p>Sub-Jefatura de Acabado de Prenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 detectores de metal marca Hachima</li> <li>• 2 ensunchadoras</li> <li>• 20 vaporizadoras: 2 marca Hoffman, 7 Veit, 11 marca Rotondi</li> <li>• 13 generadoras de vapor marcas Veit, Sartitalia, Silver y Veneto</li> <li>• 12 mesas de vaporizado portátil marcas Veit, Sartitalia y Reach</li> <li>• 11 desmanchadoras Rotondi y 1 desmanchadora marca Veit</li> <li>• 4 selladoras marca Grundy</li> </ul> <p>Sub-Jefatura de Lavandería:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 centrifugadoras de muestra</li> <li>• 2 exprimidores centrífugos marca Kranzt Aachen</li> <li>• 11 lavadoras marcas Efameinsa, Dyna, Tonello, Troy y Cosmotex</li> <li>• 12 secadoras marcas Tonello, Unimac, Efamein y Cissel</li> <li>• 4 cabinas térmicas marcas Mejator y Efamein</li> <li>• 2 hornos termofijadores marcas Mejator y Efamein</li> </ul> <p>Sub-Jefatura de Bordado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 bordadoras marcas Melco, Richpiece, Amaya y Tajima</li> <li>• 11 estampadoras marcas Altena, Instan y Mejator</li> <li>• 1 troqueladora marca Hudson Machinery</li> <li>• 4 enconadoras</li> <li>• 6 patroneras automáticas marca Brother</li> <li>• 4 deshumificadores marca Bionaire</li> </ul>

Por último, en cuanto a los trabajadores, se resalta el hecho de que además del nuevo gerente general, Textil del Valle ha contratado un grupo de profesionales jóvenes con experiencia en temas de innovación y digitalización, lo que le ha permitido continuar su transformación de manera exitosa (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020). En línea a ello, se ha creado un área denominada Gestión de Cambio, Clima y Cultura en donde se trabaja de manera específica la gestión del cambio con los colaboradores. Además, Marcos Chiok menciona que existe un elevado orgullo y sentido de pertenencia por parte de los trabajadores al pertenecer a una empresa innovadora, lo que se traduce en una menor tasa de rotación (comunicación personal,

28 de mayo, 2020). A continuación, en la tabla 14 se detallan los trabajadores de las áreas antes mencionadas.

**Tabla 14: Empleados de la Gerencia Central de Operaciones de Textil del Valle SA**

Área	Empleados
Jefatura de Desarrollo de Prendas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 37 personas en total</li> <li>• Organizado en 4 equipos multifuncionales:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 3 equipos de Desarrollo: conformado por analistas de prenda/producto, modelistas y analistas de avíos</li> <li>○ 1 equipo de consumo y cotizaciones</li> </ul> </li> </ul>
Jefatura de Tejeduría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 personas, incluyendo supervisores, jefes y mecánicos</li> <li>• Se alternan entre tejido circular y rectilíneo</li> </ul>
Jefatura de Tintorería	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 217 personas</li> </ul>
Jefatura de Estampado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 personas en los 4 procesos de estampado, los cuales se asignan según los requerimientos del cliente. El estampado serigráfico requiere la experiencia del maquinista y demanda más personas; mientras que, el digital requiere de un conocimiento especializado</li> </ul>
Gerencia de Operaciones de Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1600 personas en total</li> <li>• El área de costura cuenta con 600 personas divididas en 32 líneas de 18-20 maquinistas</li> <li>• El área de acabado cuenta con 14-15 módulos conformados por 5 personas</li> </ul>

### 5.2.1. Análisis interno de Textil del Valle SA

A continuación, se presenta una tabla resumen con el análisis interno de la organización con base a la información obtenida en las entrevistas semiestructuradas realizadas a los gerentes, jefes de área y proveedores de la organización.

**Tabla 15: Fortalezas y debilidades de Textil del Valle SA**

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pionera y líder en sostenibilidad dentro del sector peruano, lo que le permite responder de manera rápida a las nuevas exigencias de los clientes en cuanto a dicha tendencia. Además, cuentan con una persona especialista en el tema dentro de la organización.</li> <li>• Cuenta con certificaciones ISO que aseguran la alta calidad y confiabilidad de su producto, además de certificar su comportamiento responsable con el medio ambiente.</li> <li>• En coherencia con su estrategia de sostenibilidad, cuenta con una planta de tratamiento de agua, una planta de ósmosis inversa que le permite un ahorro del 20% al 30% en consumo de agua, una planta de reciclaje y paneles solares que le permite autogenerar su propia energía.</li> <li>• Existe transparencia en el desarrollo de sus proyectos, lo que le permiten posicionar su imagen de sostenibilidad y atraer potenciales clientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta fábricas en otros países a diferencia de sus competidores, los cuales, a través del establecimiento de plantas en regiones con menor costo de mano de obra o materia prima, poseen menor costo de producción.</li> <li>• El Sistema de Planificación de Recursos (ERP, en sus siglas en inglés) que actualmente poseen no cuenta con las funcionalidades necesarias que le permitan escalar su nivel de conectividad entre el sistema, las máquinas y los controladores que se están implementando en ellas.</li> <li>• La planta principal al ubicarse en Chíncha limita la accesibilidad de empleados por la lejanía con la ciudad central y por la presencia de competidores que requieren del limitado personal que desea seguir trabajando en el sector Textil.</li> </ul>

**Tabla 15: Fortalezas y debilidades de Textil del Valle SA (continuación)**

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encuentra alineada con sus proveedores en cuanto a su estrategia de sostenibilidad, ofreciendo servicios y productos sostenibles.</li> <li>• Cuenta con un área de estampado digital moderna que le permite mayor flexibilidad. Además de ser la única empresa en el sector que ofrece los 4 tipos de estampados más utilizados en el medio: sublimado, digital en reactivo, digital DTG, serigráfico.</li> <li>• Realiza constantes innovaciones en maquinaria y sistemas. También cuenta con un área de desarrollo de software interno que continuamente mejorando sus procesos.</li> <li>• Realiza continua investigación en tecnologías de vanguardia, visitando otros países y ferias internacionales como el ITMA.</li> <li>• Sus trabajadores, empezando desde el gerente general, tienen el mindset de innovación y tecnología.</li> <li>• Cuenta con amplio espacio dentro de su planta para seguir realizando inversiones en tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con clientes sobre exigentes en cuanto a la calidad de los productos y de la materia prima utilizada. Esto ocasiona cambios recurrentes en su cadena de suministros, influyendo hasta los proveedores con los que cuenta.</li> <li>• No existe integración mediante plataformas digitales entre los sistemas de gestión de recursos o manufactura de la empresa con los sistemas de gestión de los proveedores o clientes.</li> </ul>

### 5.3. Análisis externo del sector Textil-Confecciones para los sujetos de estudio

A continuación, en la tabla 16 y 17 se presentan las oportunidades y amenazas más relevantes del sector Textil-Confecciones para las empresas sujeto de estudio. Además, se pretende vincular aquellos factores externos generados por los cambios que se están llevando a cabo por el surgimiento de la Industria 4.0 y cómo estos también pueden influir indistintamente a Polcyr y Textil del Valle.

**Tabla 16: Oportunidades y Amenazas para Polcyr SRL**

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El apoyo del Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030 para incrementar la competitividad del país en términos de tecnología e innovación (CNCF, 2019).</li> <li>• Conformación de la Mesa Ejecutiva para el Desarrollo del Sector Textil que tiene como objetivo identificar problemas y cuellos de botella, así como coordinar, proponer soluciones, facilitar e impulsar acciones que contribuyan a mejorar la productividad y competitividad del sector (APTT, 2019).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en la productividad del sector debido a las restricciones generadas por la coyuntura de la pandemia (Ministerio de la Producción, 2020).</li> <li>• Falta de regularización por parte del Estado de prácticas dumping ocasionadas por el ingreso de telas chinas con menor costos. De esta manera, se ocasiona el quiebre de empresas que producen telas o confeccionan prendas. Esto ha ocasionado pérdidas de S/ 3 mil millones en los últimos 10 años (Alarcón, 2020)</li> <li>• Debilidad en las políticas del Estado que controlan la informada y la subvaluación de las prendas importadas (Redacción Mundo Textil, 2019)</li> </ul>

**Tabla 16: Oportunidades y Amenazas para Polcyr SRL (continuación)**

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia de organizaciones como el Centro Tecnológico de Textiles y Confecciones de Senati (CCTC) y el Centro de Estudios en Innovación Textil de la Universidad de Lima (CEITEX) que ofrecen asesoría enfocada en la investigación, desarrollo e innovación para el sector peruano (SENATI, 2020; Universidad de Lima, 2020).</li> <li>El Programa “Reactiva Perú” que otorga garantías a las empresas a fin de que puedan acceder a créditos de capital de trabajo para afrontar las necesidades de liquidez en la coyuntura de pandemia por el COVID-19 (Ministerio de Economía y Finanzas, 2020).</li> </ul>	

**Tabla 17: Oportunidades y Amenazas para Textil del Valle SA**

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>El énfasis en productos y tecnologías que aprovechan el Internet de las Cosas (IdC) presentadas en la feria mundial ITMA 2019, donde empresas exportadoras peruanas realizan sus inversiones en tecnología e innovación (Redacción Interempresas, 2019).</li> <li>La proyección de incremento en el tamaño global del mercado de textiles inteligentes (Grand View Research, 2019).</li> <li>La posibilidad de generar mayor valor agregado en la producción de productos terminados a partir de la alta calidad de la materia prima peruana y la inversión en tecnología (Ortega Suárez, 2004).</li> <li>El apoyo del Plan Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030 para incrementar la competitividad del país en términos de tecnología e innovación (CNCF, 2019).</li> <li>Inclusión de la sostenibilidad como requisito del cliente extranjero, lo cual orienta a las empresas a incorporarla como parte de su estrategia (APTT, 2020a).</li> <li>Formación de un clúster sostenible dentro del sector Textil (FAIR), dentro del cual existe participación de grandes empresas y, sobre todo, pequeñas y medianas empresas (E. Siekmann, comunicación personal, 10 de julio de 2020).</li> <li>El uso de plataformas virtuales comerciales entre exportadores textiles peruanos y compradores extranjeros que buscan alternativas de abastecimiento para reemplazar a Asia, debido a la coyuntura de pandemia por el COVID-19 (Diario Gestión, 2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El continuo desplazamiento en las exportaciones, debido a la debilidad en términos de infraestructura, eficiencia del mercado laboral, sofisticación de los negocios e innovación del sector (Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, 2016).</li> <li>Ausencia de innovación tecnológica en las empresas (International Trade Center (ITC), 2019).</li> <li>Debilidad en las políticas de Estado que controlan la informalidad (Redacción Mundo Textil, 2019).</li> </ul>

## CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se presenta la metodología que permitió desarrollar la investigación y estructurar el trabajo de campo para el posterior análisis del sujeto de estudio utilizando la literatura trabajada en el marco teórico y teniendo en cuenta los aspectos desarrollados en el marco contextual. En primer lugar, se aborda el alcance de la investigación, luego el enfoque a utilizarse, así como el diseño de esta. En segundo lugar, se explica la selección de los sujetos de estudio y la metodología utilizada para la recolección de la información, describiendo las técnicas y los instrumentos seleccionados en cada etapa de la investigación. Posteriormente, se describe el proceso que se llevó a cabo para el análisis de la información, y se detalla cómo se validó la calidad y ética de la investigación. Finalmente se presenta un flujograma del trabajo detallando las fases y actividades de la investigación.

### 1. Alcance de la investigación

Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2014), el alcance de la investigación resulta de la revisión de literatura y de la perspectiva del estudio; además, depende de los objetivos definidos dentro de la investigación para combinar los elementos en el estudio. Es así como los autores definen cuatro tipos de alcances: los exploratorios, los descriptivos, los correlacionales y los explicativos. La definición del tipo de alcance permite determinar hasta dónde se llegará con el estudio a realizarse y es importante para delimitar el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso que diferirán dependiendo del tipo.

Para esta investigación se tomará como referencia un alcance de tipo exploratorio-descriptivo. Esta elección se ve respaldada en el hecho de que ciertas variables vinculadas al problema de investigación como las características, los principios y los factores clave de preparación hacia la transformación de las empresas en la Industria 4.0 han sido trabajados en profundidad a nivel teórico y empírico por autores a nivel global; no obstante, estas mismas variables no han sido estudiadas en detalle dentro de investigaciones que involucren un trabajo de campo en el contexto de las PyMES en el Perú (Saunders, Lewis y Thornhill, 2009). Es decir, no se ha profundizado sobre las restricciones y oportunidades que existen sobre las dimensiones evaluadas por los modelos de preparación en las PyMES a nivel local; pero, se podrán describir ciertas características del fenómeno presentes en los sujetos de estudio seleccionados.

Además, lo que se busca es generar hipótesis relacionadas a cuáles son los pasos que se deben ejecutar, posterior a la evaluación y análisis de las dimensiones, para el diseño de una estrategia de implementación que involucre etapas y lineamientos clave para apropiarse de los beneficios de la Industria 4.0. Por este motivo, a partir de los hallazgos y conclusiones de la tesis, se busca impulsar el desarrollo de líneas de investigación más profundas vinculadas a la Industria

4.0 en el contexto de las PyMES del sector Textil-Confecciones peruano, de las cuales se puedan extraer relaciones entre las variables objeto de estudio.

## **2. Enfoque de la investigación**

Según Hernandez et al. (2014) existen tres tipos de enfoques para orientar la investigación académica: el cuantitativo, el cualitativo y el mixto. Para desarrollar esta investigación se optó por utilizar un enfoque cualitativo dado que: (1) el fenómeno y el problema de investigación abordado es de naturaleza compleja, por lo que, resulta importante iniciar con un enfoque que tenga una orientación hacia la exploración, la descripción y el entendimiento del fenómeno (2) se pretendió utilizar la teoría como marco de referencia que permitiese proveer dirección a la investigación, pero que, la misma pueda ir refinándose y construyéndose a partir de los datos empíricos obtenidos en el trabajo de campo y analizados a través de procesos de codificación; (3) se requirió un enfoque que permita mayor flexibilidad en el diseño de la investigación; y, (4) existía un mayor interés en analizar y profundizar intensivamente en los casos de estudio para responder a los objetivos de la investigación que generalizar los resultados por medio de una muestra representativa de la población (Hernandez et al., 2014).

## **3. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación se refiere al plan o estrategia general concebida para obtener la información que se requiere para la investigación, esto es importante ya que ayuda a visualizar la manera práctica y concreta de dar respuestas a la pregunta de investigación planteada, así como cubrir los objetivos estipulados (Hernandez et al., 2014). En este sentido, Ponce y Pasco (2018) indican que las estrategias más comunes de investigación son las siguientes: el experimento, el estudio tipo encuesta, el estudio de caso, la etnografía y la investigación-acción. Las mismas que se relacionan con los tipos de enfoque anteriormente mencionados.

La presente investigación ha seleccionado el estudio de caso como método de investigación, el cual estudia un fenómeno contemporáneo en profundidad y dentro de su contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto pueden no ser muy evidentes (Yin, 2018). Además, según Ponce y Pasco (2018) está orientado a la comprensión de algún fenómeno o unidad de análisis dentro del contexto en el cual se desarrolla, teniendo en cuenta las complejidades del mundo real y tratando de darles sentido. Según los autores, en esta estrategia el investigador estudia un número limitado de casos para comprender un fenómeno más amplio y se suelen realizar en los contextos en los que ocurre diariamente el fenómeno. Este método ha sido seleccionado principalmente porque la pregunta de investigación busca comprender cómo una empresa puede diseñar una estrategia de implementación de la Industria

4.0; además, se desea estudiar un evento contemporáneo en el cual los comportamientos más importantes no requieren ser manipulados por los investigadores.

Yin (2018) propone cuatro tipos de diseño de estudio de caso a partir de una matriz que cuenta con cuatro variables: (1) holístico, donde se tiene una sola unidad de análisis, (2) sentido incrustado, con varias unidades de análisis, (3) un solo caso, con el análisis de un caso únicamente y (4) múltiples casos, donde se analizan dos o más casos al mismo tiempo. Para motivos de esta investigación, se realiza un estudio de caso múltiple de sentido incrustado dado que se analizarán los casos a partir de distintas unidades de análisis que serán definidas por los factores clave y las dimensiones para medir su nivel de preparación e iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0. Se optó por utilizar un caso múltiple con el objetivo de generar una réplica teórica, es decir, identificar y analizar resultados contrastantes entre cada uno de ellos tanto en el nivel de preparación como en cómo deberían desarrollar el proceso de implementación de la Industria 4.0; además, se desea corroborar ciertas razones previsibles de este contraste señaladas a través de las proposiciones teóricas que se desarrollaron inicialmente (Yin, 2018).

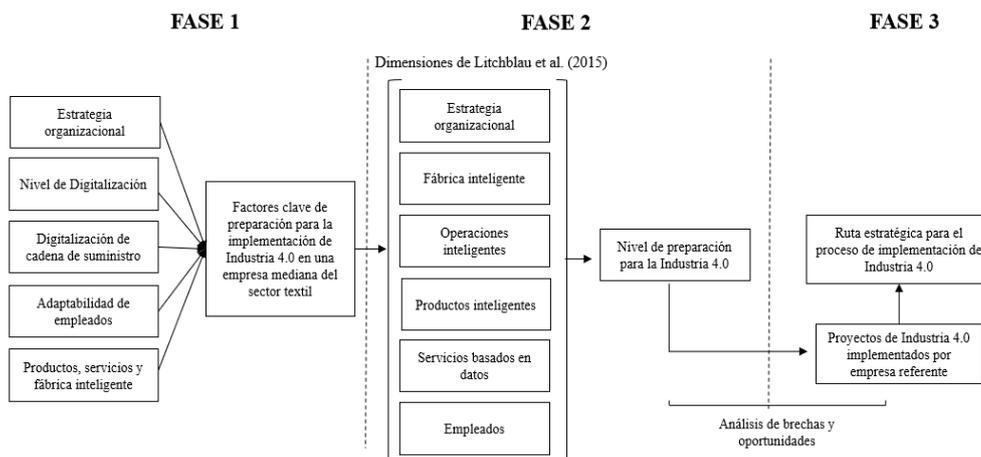
Cabe resaltar que parte como parte del diseño de la investigación, se ha tomado en cuenta el uso del modelo de preparación propuesto por Lichtblau et al. (2015), el cual resulta importante porque es aquel que incluye las seis variables que permitirán identificar y describir el nivel de preparación del sujeto de estudio con respecto al avance en el proceso de implementación de la Industria 4.0. El modelo de Lichtblau et al. (2015) se alinea con el método de estudio de caso y es importante señalar las diversas relaciones entre uno y el otro.

- En primer lugar, los estudios de caso pueden incluir, complementar, e incluso limitarse a evidencia cualitativa y/o cuantitativa; por lo que, los resultados obtenidos posterior a la aplicación del cuestionario pueden formar parte del caso.
- En segundo lugar, a diferencia de los otros modelos analizados en el marco teórico, posterior a la obtención de los resultados por cada dimensión analizada, el modelo permite comprender “cómo” incrementar el nivel de preparación a través de acciones específicas, lo que se vincula a lo propuesto por Yin (2018); el cual, indica que resulta más apropiado este método para responder a preguntas de investigación que incluyen un “cómo” o un “por qué”.
- En tercer lugar, al realizar un estudio de caso múltiple de sentido incrustado se debe contemplar diversas unidades de análisis, las cuales serán seleccionadas a través de las dimensiones del modelo de Lichtblau et al. (2015).
- Finalmente, Yin (2018) menciona que ciertos diseños de casos múltiples pueden seguir un patrón de “dos colas” en el que se eligen deliberadamente dos casos totalmente

opuestos para analizar su contraste. De esta manera, el modelo de Lichtblau et al. (2015) al ser aplicable a empresas medianas y grandes, servirá como instrumento de medición y comparación entre el nivel de preparación de los casos seleccionados en la investigación.

La figura 28 ilustra el modelo metodológico que direccionó la investigación, el cual toma en consideración las hojas de ruta de Erol et al. (2016) y Pessl et al. (2017). En la fase inicial, se determina la validez de los cinco factores clave como explicación de las áreas a ser desarrolladas por una empresa del sector textil confecciones para la implementación de la Industria 4.0; en segundo lugar, las empresas que forman parte del sujeto de estudio son evaluadas, a través de las seis dimensiones del modelo seleccionado en el marco teórico, para hallar el nivel actual de preparación en cuanto a las características que se requieren para la Industria 4.0; y, finalmente, se investigó en profundidad cada una de estas dimensiones, con su respectivo nivel de preparación, para poder analizar las restricciones y oportunidades que surgen de ellas con el objetivo de diseñar el *roadmap* compuesto por diversas iniciativas que permitan incrementar su nivel de preparación para desarrollar con éxito el proceso de implementación de la Industria 4.0.

**Figura 28: Modelo metodológico de la investigación**



Adaptado de Erol et al. (2016), Lichtblau et al. (2015) y Pessl et al. (2017)

Para responder al modelo metodológico de la investigación de esta tesis se diseñó una matriz de consistencia donde se presenta el detalle de las variables del estudio, las unidades de análisis, los indicadores y las fuentes de evidencia utilizadas (ver Anexo H). La decisión de optar por una metodología cualitativa inicial que involucre la validación de los factores críticos requeridos para que una empresa esté preparada para adaptarse a la Industria 4.0 a través de una revisión de la literatura ha sido utilizada por Sony y Naik (2019) y, en algunos casos, una validación a través de entrevistas a expertos ha sido utilizado por Biegler et al. (2018) y Moeuf et al. (2019); además, se ha tenido como referencia parte de la metodología utilizada en las tesis de

Abdulrahman (2019), Benvenuto y Bäcklin (2019), Broomé y Renström (2018), Singh (2019) y Villa (2018).

Posteriormente, la medición de la preparación para desarrollar un proceso de implementación de la Industria 4.0 en las empresas sujeto de estudio será a través de un cuestionario vinculado a las dimensiones del modelo de Lichtblau et al. (2015) que permite medir la preparación de las empresas tomando en cuenta las 6 dimensiones detalladas en el marco teórico. Finalmente, se utilizó las entrevistas en profundidad para poder analizar al detalle e identificar, después de obtener los resultados de la evaluación, las oportunidades y las restricciones de la organización en cada una de las dimensiones evaluadas con el objetivo de estructurar los lineamientos estratégicos adecuados.

#### **4. Marco muestral**

Según Ponce y Pasco (2018) en caso el investigador no se encuentra en capacidad de recolectar información de la totalidad de unidades de observación o de la población objetivo del estudio, debe optar por seleccionar una muestra que le permita responder a los objetivos de la investigación. Por este motivo, dado que no se cuenta con la capacidad de recolectar información de todas las empresas del sector Textil-Confecciones del Perú, se utiliza la técnica del muestreo y se trabaja con Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. como sujetos de estudio. De la misma forma, en la presente investigación se opta por un muestreo no probabilístico o por conveniencia; ya que, la selección de las unidades de observación ha sido realizado bajo los criterios de los investigadores y con el objetivo de permitir cierta aproximación al fenómeno organizacional investigado, es decir, la Industria 4.0 Además, es por conveniencia dado que las empresas que forman parte del sujeto de estudio fueron seleccionados por la facilidad de acceso a las unidades de observación (Ponce y Pasco, 2018).

Como se mencionó en el diseño de la investigación, Yin (2018) propone que un estudio de caso múltiple puede seleccionar deliberadamente dos casos opuestos; de esta manera, se puede realizar un contraste entre ellos para responder a los objetivos propios de la investigación. Por este motivo, la selección de las dos empresas que forman parte del sujeto de estudio pertenece al mismo sector, pero cuentan con diversas características que permiten responder a las preguntas de investigación de forma más detallada. Por otro lado, se debe mencionar que ambas empresas nos permiten responder a las preguntas de investigación, ya que cuentan con la información necesaria para diseñar los lineamientos de un proceso de implementación hacia la Industria 4.0, objetivo general de la tesis.

El primer caso seleccionado es Confecciones Polcyr S.R.L. debido a tres motivos en particular: (1) cuenta con características similares a los de una mediana empresa que pertenece al

sector Textil-Confecciones en el Perú; (2) la estrategia y los objetivos que la empresa ha diseñado para los próximos años busca vincular la implementación de tecnología pero carece de un entendimiento claro para desplegarla; y, (3) se encuentra en un proceso de integración hacia atrás que le permitiría optimizar el desempeño de su organización, pero donde requerirá un mejor proceso de control mediante tecnología.

Además, se optó por incluir a Textil del Valle S.A. como segundo caso a ser estudiado por tres motivos: (1) forma parte de las empresas líderes del mismo sector en cuestión, siendo aquella empresa que se ha enfocado en incluir la tecnología y la sostenibilidad como pilares de su estrategia de expansión local e internacional; (2) se encuentra en un proceso de cambio organizacional donde se están digitalizando y modificando ciertos procesos dentro de las áreas bajo los lineamientos de la Industria 4.0; y, (3) cuenta con las características necesarias para poder comprender cómo utilizar ciertas tecnologías que forman parte de la Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones, permitiendo una comparativa clara entre su nivel de preparación y el de Polcyr S.R.L.

## **5. Recolección de Información**

Con el objetivo de responder al problema de investigación y teniendo en cuenta el diseño metodológico propuesto, se decidió utilizar secuencialmente diversas técnicas e instrumentos, cualitativos y/o cuantitativos, según cada una de las fases. Cabe resaltar que, al tratarse de un diseño de caso múltiple con foco en obtener información detallada de cada caso seleccionado, la recolección de los datos para cada una de las unidades de análisis siguió un procedimiento estructurado previamente. Además, el proceso de recolección tomó en consideración los principios de recolección de la información propuestos por Yin (2018): (a) el uso de múltiples fuentes de evidencia, (b) creando una base de datos para almacenar la información de cada caso de estudio y (c) manteniendo una cadena de evidencias.

Por otro lado, se consideró pertinente para la investigación diseñar un protocolo (ver Anexo I) que permita guiar la recolección de la información y se incremente la fiabilidad del caso de estudio. El protocolo está compuesto de 4 secciones: en primer lugar, una descripción general del estudio de caso, donde se pueda comprender el objetivo principal, las hipótesis a ser validadas y una síntesis de los conceptos teóricos clave utilizados en la investigación; en segundo lugar, una explicación de los procedimientos que permitirán la correcta recopilación de datos y la descripción de cuál es el proceso para obtener el consentimiento informado de los participantes de la investigación; en tercer lugar, una descripción general de las preguntas que el investigador debe tener en cuenta al recopilar los datos y las posibles fuentes de evidencia para abordar cada

pregunta; y, finalmente, un esquema tentativo de cómo se presentará la información recolectada y los hallazgos de la investigación (Yin, 2018).

### **5.1. Técnicas de recolección**

En cuanto a las técnicas de recolección, se detallarán las fuentes de información a las que se accedieron, así como las herramientas utilizadas para la recolección de datos. Según Yin (2018), cuando se realiza un estudio de caso, la información puede obtenerse regularmente por medio de seis fuentes: documentos, registros de archivo, entrevistas, observaciones directas, observación participante y artefactos físicos. Además, puede incluirse el uso de instrumentos cuantitativos como las encuestas, con el objetivo de obtener información complementaria sobre las unidades de análisis que forman parte del caso a ser estudiado. A continuación, se presentan las herramientas y el proceso utilizado en cada tipo de fuente.

#### **5.1.1. Fuentes Primarias**

Acerca de las fuentes primarias, estas “se refieren a documentos que incluyen información recolectada directamente por el autor de la fuente, tales como artículos de investigaciones académicas, tesis, trabajos presentados en conferencias, entrevistas y reportes oficiales de encuestas tomadas a las unidades de observación” (Ponce y Pasco, 2018, p. 34). Para esta investigación se tienen como fuentes primarias las entrevistas realizadas a: (1) expertos de la Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones; (2) a la gerencia de Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.; (3) a sus proveedores principales. Por otro lado, se aplicó la encuesta del modelo de Lichtblau et al. (2015) a la gerencia de ambos casos de estudio. Finalmente, también se utilizó la información documentaria de ambas empresas como fuente complementaria para describir las características principales de los casos.

En la primera fase, para la validación de los factores críticos extraídos de la revisión de la literatura y comprender cómo se vinculan con una estrategia de implementación de la Industria 4.0 en las empresas se realizaron entrevistas, por medio de las plataformas Google Meet y Skype, a expertos locales e internacionales con experiencia en el desarrollo de modelos de madurez e implementación de la Industria 4.0 en diversas industrias o con conocimiento de procesos de innovación y transformación digital organizacional como se muestra en la tabla 18. Las entrevistas fueron realizadas en inglés y español bajo una estructura de seis secciones (ver Anexo J y K): una introductoria al tema de Industria 4.0 y cinco referentes a cada uno de los factores clave mencionados en el marco teórico; además, se incorporó una sección general con preguntas relacionadas a ejemplos de implementación de Industria 4.0 y recomendaciones generales acerca de la metodología de investigación utilizada y puntos de partida para la propuesta estratégica al sujeto de estudio. Cabe resaltar que se aplicó una entrevista (ver Anexo L) a un experto del Sector

Textil-Confecciones, como se muestra en la tabla 19, con la intención de complementar la información sobre los factores de la Industria 4.0 en el propio sector.

**Tabla 18: Entrevistados Expertos de Industria 4.0**

Entrevistado	Fecha	Duración	Idioma	Experiencia
Jaime Sotomayor	11-04-2020	asincrónica	Español	Lic. en Ingeniería de Sistemas y candidato de Maestría en Columbia University. Especialista consultor en innovación.
Alfredo Pérsico	19-04-2020	01:14:22	Español	Mgtr. por la Universidad Complutense de Madrid y Doctorando en PUCP. Especialista consultor en Innovación. Docente en Pacífico Business School y Escuela de Postgrado UPC.
Eduardo Torres	24-04-2020	00:59:24	Español	MBA por Samuel Curtis Johnson Graduate School of Management y Mgtr. por Universidad ESAN. COE Data - BCP
Jian Qin	28-04-2020	00:58:28	Inglés	Dr. por la Universidad de Minnesota. Colegio de Ciencias e Ingeniería - Universidad de Flinders
Athos Pacchini	1-05-2020	01:09:32	Español	Dr. de Ingeniería de la Producción por Uninove-Juhlo. Docente en Uninove – Universidade Nove de Julho
Sameer Mittal	4-05-2020	00:54:52	Inglés	Docente en Departamento de Ingeniería Industrial y Administración de Sistemas - West Virginia University
Paulo Pecas	5-05-2020	01:00:37	Inglés	Dr. en Gestión de la Producción e Ingeniería Mecánica por el Instituto Superior Técnico de Lisboa. Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa
Afonso Amaral	5-05-2020	01:00:37	Inglés	Mgtr. en Ingeniería Mecánica por el Instituto Superior Técnico de Lisboa y Doctorando en Ingeniería y Políticas Públicas en Carnegie Mellon University. Investigador en temas de Industria 4.0 - Universidade de Lisboa
Jaione Ganzarain	11-05-2020	00:54:04	Español	Dr. en Ingeniería por Mondragon Unibertsitatea. Docente en Departamento de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial - Mondragon Unibertsitatea
Andreas Schumacher	15-05-2020	asincrónica	Inglés	Dr. por Karlsruhe Institute of Technology. Investigador y Gerente de Proyectos Digitalización Industrial Fraunhofer Austria Research/ Vienna University of Technology

**Tabla 19: Entrevistado a Experto del sector Textil-Confecciones**

Entrevistado	Fecha	Duración	Idioma	Experiencia
Juan Rojas	28-05-2020	00:55:18	Español	20 años en diversas empresas del sector Textil-Confecciones

Por otro lado, como parte de la segunda fase de investigación, se tuvieron entrevistas, mediante las plataformas Google Meet y Zoom, a los líderes de las áreas más importantes de la empresa Textil del Valle como se muestra en la tabla 20, dónde se buscó comprender las

características del sector Textil y, específicamente, comprender cómo se llevó a cabo el proceso de cambio y transformación de la empresa hacia la tecnología que forma parte de la Industria 4.0. De esta forma, se buscó obtener información para reconocer como los factores críticos validados por los expertos internacionales se evidencian en ciertos procesos y/o tecnologías que ya se están aplicando en una organización líder de la industria textil en el Perú. Las entrevistas se estructuraron en cuatro secciones (ver Anexo M): una introducción al área de la empresa revisada, la segunda referente a la estrategia de implementación, la tercera referente al proceso de implementación de las iniciativas vinculadas a la Industria 4.0 y la cuarta referente a los beneficios obtenidos a partir de la implementación de estos cambios y su visión a futuro.

**Tabla 20: Entrevistas a trabajadores de Textil del Valle**

Entrevistado	Cargo	Día	Duración
Luis Moreno	Jefe de Tejido	20-05-2020	00:48:58
Eric Mendoza	Jefe de Estampado	28-05-2020	00:47:39
Juan Rojas	Jefe de Desarrollo de Prenda	27-05-2020	01:01:12
Marcos Chiok	Gerente de Manufactura	28-05-2020	01:05:35
Adán Echeandía	Gerente de Operaciones Textiles y DDP	18-06-2020	01:26:46

Además, para poder obtener más información con respecto a las características de toda la cadena de suministros de la organización y validar la información que las diversas áreas nos brindaron, se realizaron entrevistas a sus principales proveedores, como se muestra en la tabla 21, compuestas por cuatro secciones (ver Anexo N): una introducción general de las características de la empresa con foco en sus principales procesos operativos, la segunda vinculada al nivel de digitalización de la organización, la tercera referente a comprender cómo se desarrolla la relación comercial y operativa con Textil del Valle S.A.; y, finalmente, ciertas preguntas relacionadas al sector Textil – Confecciones en su conjunto.

**Tabla 21: Entrevistas a proveedores de Textil del Valle**

Entrevistado	Empresa	Tipo de Proveedor	Día	Duración
Eduardo Amillas	Kisco Perú	Químicos, Colorantes, Maq. Textil	08-07-2020	01:11:42
Eric Siekmann	CHT Perú	Químicos y Colorantes	10-07-2020	00:59:05
Carlos Calonge	Archroma Perú	Químicos y Colorantes	14-07-2020	01:13:50

Por otra parte, en cuanto al segundo caso de estudio, se entrevistó a Jorge Cabrera Rojas, gerente general y comercial de la compañía, como se observa en la tabla 22, por medio de diversas llamadas telefónicas. La primera entrevista se estructuró en 3 secciones (ver Anexo Ñ): (1) una introducción general de la empresa en términos de su estructura, estrategia, fábrica, empleados; (2) la descripción de sus áreas de producción, operaciones y el modelo comercial; y, (3) el nivel de avance en digitalización de la empresa. La segunda entrevista buscó profundizar sobre las dimensiones del modelo utilizado para medir el nivel de preparación y tuvo 3 secciones (ver

Anexo O): (1) preguntas vinculadas al nivel de preparación tecnológica que posee la organización; (2) el nivel de avance en digitalización, pero específicamente en la recolección y uso de la información; y, (3) referente a conocer los planes y visión a futuro con respecto a la implementación de la Industria 4.0. Cabe destacar que, parte de esta guía fue incorporada en la entrevista realizada con Adán Echeandía, Gerente de Operaciones Textiles y DDP con la intención de corroborar los resultados que se obtendrían del cuestionario del modelo de Lichtblau et al. (2015).

Las dos entrevistas se guiaron con el fin de conocer las características de la empresa, así como sus procesos clave y, además, comprender cómo los factores mencionados en el marco teórico y las dimensiones evaluadas por medio del modelo seleccionado pueden traducirse en acciones concretas que sean aplicables para el contexto actual del sector y el tamaño de la empresa. A partir de ello, se buscó interrelacionar la información obtenida con Textil del Valle para determinar cuáles lineamientos podrían seguir que les permitan superar las restricciones u oportunidades que poseen para implementar la Industria 4.0.

**Tabla 22: Entrevistas a trabajadores de Confecciones Polcyr S.R.L.**

Entrevistado	Cargo	Día	Duración
Jorge Cabrera	Gerente General	25-04-2020	01:34:11
		13-06-2020	01:45:46

Como se mencionó con anterioridad, para medir el nivel de preparación se utilizó el cuestionario (ver Anexo P) del Modelo de Preparación de Lichtblau et al. (2015) siendo respondido por aquellos trabajadores, como se muestra en la tabla 23, que poseían un conocimiento amplio de la empresa, las estrategias vinculadas a la implementación de proyectos de la Industria 4.0 y su avance en tecnología. Para la recolección de información a través del cuestionario, en el caso de Confecciones Polcyr S.R.L., se siguieron los siguientes pasos: (1) en primer lugar, se tradujo el cuestionario del modelo del idioma inglés al español; (2) en segundo lugar, se trasladaron las preguntas del cuestionario al aplicativo Microsoft Forms; (3) en tercer lugar, se envió este cuestionario virtual al Gerente General para obtener el detalle de cada respuesta; (4) en cuarto lugar, una vez obtenidos los resultados, se han ingresó los datos al Cuestionario Online que ofrece IMPULS y se determinó el nivel de preparación.

En el caso de Textil del Valle S.A. los pasos fueron los siguientes: (1) en primer lugar, se envió el enlace con el cuestionario online en inglés dentro de la plataforma que ofrece IMPULS para obtener su respuesta, ya que la persona encargada de resolverlo tenía conocimientos del idioma para desarrollarlo por sí mismo; (2) en segundo lugar, se le envió el cuestionario en español dónde se pudieron recabar el detalle de cada respuesta en las preguntas, lo que fue necesario para realizar un análisis a profundidad; (3) en tercer lugar, una vez obtenidos los

resultados se determinó el nivel de preparación. Cabe destacar que, la aplicación de la encuesta del modelo preparación de Lichtblau et al. (2015) a la empresa Textil del Valle tuvo el objetivo de obtener un *benchmark* realista del líder del sector y que, a partir de la comparación con el resultado de Confecciones Polcyr S.R.L., se pueda diseñar una estrategia que permita alcanzar ese nivel referente en un mediano y/o largo plazo en empresas del mismo rubro.

**Tabla 23: Participantes evaluados con cuestionario del modelo de Lichtblau et al. (2015)**

Nombre	Empresa	Cargo	Fecha
Jorge Cabrera	Confecciones Polcyr S.R.L.	Gerente General	19-04-2020
Adán Echeandía	Textil del Valle S.A.	Gerente de Operaciones Textiles	20-05-2020

Finalmente, para llevar a cabo el proceso de priorización por medio del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) se optó por realizar una entrevista al gerente general de Polcyr con la intención de que determine la importancia de cada dimensión en función de la influencia de su implementación en los resultados de la empresa. Para ello, se realizaron las comparaciones por medio de la escala creada por Saaty (1990) tomando en consideración la relación costo-beneficio que implicaría para la empresa integrar dentro de la estrategia las iniciativas vinculadas a cada dimensión y sus criterios.

**Tabla 24: Entrevista para evaluación de las dimensiones a través del método AHP**

Nombre	Empresa	Cargo	Fecha	Duración
Jorge Cabrera	Confecciones Polcyr S.R.L.	Gerente General	11-08-2020	00:58:14

### 5.1.2. Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias se refieren a documentos producidos sobre la base de información recolectada en estudios previos, como artículos que desarrollan información a partir de bases de datos preexistentes, artículos sobre el estado de la cuestión de algún tema y libros donde se mencionen diversas investigaciones empíricas (Ponce y Pasco, 2018). Para esta investigación, las fuentes secundarias son: los artículos, libros y *papers* académicos que han sido utilizados para desarrollar el marco teórico y contextual de esta tesis. Los cuales tienen como objetivos de investigación temas vinculados a la Industria 4.0, implementación de tecnología 4.0, factores críticos de éxito para la Industria 4.0, modelos de medición del nivel de preparación para la Industria 4.0 e información vinculada al uso de esta tecnología en el sector Textil-Confecciones a nivel global, regional y local.

### 5.1.3. Fuentes Terciarias

Las fuentes terciarias “incluyen documentos que remiten a fuentes primarias o secundarias, como enciclopedias, diccionarios y catálogos de publicaciones” (Ponce y Pasco, 2018, p. 35). En esta investigación, la principal fuente terciaria utilizada es el catálogo virtual de la biblioteca de la PUCP, el cual recopila información académica de diversas bases de datos, de

las cuales las más usadas son: JSTOR Archive, IEEE Xplore, Emerald Insight, Full Text Finder, Ebsco Research Database, ScienceDirect – Elseiver y Springer Link. Dentro de estas bases de datos, se estableció un período de años del 2010 al 2020 para obtener la información más actualizada y se utilizaron diversas cadenas de búsquedas con los siguientes *key words*: “Industry 4.0” (o “Smart Manufacturing” o “Smart Factory” o “Industria 4.0”); “Industry 4.0” y “Critical Success Factors”; “Industry 4.0” y Roadmaps”; “Industry 4.0” y “Models”; “Industry 4.0” y “SMEs”; “Industry 4.0” y “Perú”; “Industry 4.0” y “Textile”.

## **6. Metodología de Análisis de la Información**

En esta sección se explicará cómo se realizó el análisis de la información obtenida de las diversas fuentes de información señalados en el acápite anterior. Se debe mencionar que, al tratarse de una investigación de enfoque cualitativo, se desarrolló una estrategia específica para el análisis de datos cualitativos obtenidos en las entrevistas; y, por otro lado, se complementaron con los resultados de la encuesta para medir el nivel de preparación según la metodología detallada por Lichtblau et al. (2015) en su modelo. Se debe mencionar que, como señala Gibbs (2012), el análisis de la información se desarrolló paralelamente a la recogida de datos, lo que permitió utilizar los datos que se iban recabando sobre los casos estudiados para reflexionar y profundizar sobre lo detallado en el problema de investigación; además, se buscó iniciar el proceso de análisis teniendo en cuenta las preguntas de investigación y aquellas incluidas dentro del protocolo para la recogida de datos (Yin, 2018).

### **6.1. Fase 1 del modelo metodológico**

Para la primera fase del análisis en la investigación, se optó por utilizar una estrategia que utilizaba la información obtenida por medio de las entrevistas a los expertos de la Industria 4.0 para validar las proposiciones teóricas identificadas en la literatura o generar nuevos conceptos que formaban parte de los factores críticos de la Industria 4.0 (Yin, 2018). Para ello, concluida cada una de las entrevistas desarrolladas, se procedió a realizar una transcripción literal de la información recabada con la intención de facilitar el proceso de codificación, que permitiría indexar o categorizar el texto para establecer un marco de ideas temáticas sobre él (Gibbs, 2012). Cabe destacar que este proceso se realizó utilizando un conjunto de códigos relacionados a los factores críticos como punto de partida para analizar lo dicho por los expertos, pero también se tomó en cuenta la posibilidad de identificar otras categorías vinculadas a la Industria 4.0 a través del análisis de los propios datos recabados en la entrevista (Gibbs, 2012; Glaser y Strauss, 1967).

De esta manera, los códigos identificados permitieron vincular los diferentes segmentos de las entrevistas con cada experto para crear las categorías que, posteriormente, serían agrupadas según el nivel de vinculación con alguno de los factores críticos. Para ello, cómo sugiere Tesch

(como se cita en Coffey y Atkinson, 2003), la codificación tuvo el objetivo de expandir, transformar y principalmente recontextualizar los datos segmentados con los conceptos que se construyeron inicialmente por medio del marco teórico y las preguntas de investigación. Para realizar este proceso, cada una de las transcripciones fue codificada individualmente y revisada por todos los investigadores para definir el código que caracterizaría a cada segmento de entrevista. Una vez concluido este proceso, se construyó una tabla de doble entrada que tenía que ser completada con los extractos de las entrevistas que fueron codificados, tomando en cuenta la fuente de información (eje vertical) y las categorías (eje horizontal).

Finalmente, después de agrupar los extractos codificados en cada una de las secciones, se desarrolló un proceso de jerarquización en el cual los códigos que tenían relación con otros eran colocados sobre la misma rama de la jerarquía. La primera versión de la jerarquía contenía tres niveles pero, posterior a una revisión crítica por los investigadores, se optó por mantener solamente dos niveles al transformar aquellos códigos más descriptivos en otros más teóricos y analíticos; posterior a ello, cada agrupación de códigos fue descrito y asignado a los factores críticos de Estrategia Organizacional, Nivel de Digitalización de la organización, Grado de Digitalización de la Cadena de Suministros, Adaptabilidad de los Empleados, y Productos, Servicios y Fábrica inteligente (ver Anexo Q).

Ahora bien, junto a la jerarquía de codificación y la tabla donde se categorizaron los extractos, se procedió a realizar un análisis comparativo entre lo mencionado por los diversos entrevistados tomando en cuenta la técnica analítica que se utiliza para identificar patrones hallados en el trabajo de campo con la literatura analizada previamente (Gibbs, 2012; Marshall y Rossman, 1995; Yin, 2018). Al realizar este análisis se tuvieron en cuenta tres puntos relevantes: (a) comprender que diversos expertos coincidían con las características descritas por la literatura; (b) comprender que existen discrepancias y/o contrastes con respecto a ciertos aspectos mencionados en el marco teórico; y, (c) comprender que pueden surgir nuevas características descritas por los expertos, pero que inicialmente no habían sido identificados en el análisis de la literatura.

## **6.2. Fase 2 del modelo metodológico**

Para la fase dos, se desarrolló una autoevaluación por medio de una encuesta diseñada bajo el Modelo de Preparación de Lichtblau et al. (2015), el cual clasifica un nivel de preparación para cada dimensión en base a la puntuación más baja obtenida en cada uno de los campos que componen a esa dimensión (Lichtblau et al., 2015). Por ejemplo, si dentro de la dimensión Estrategia y Organización una empresa obtiene el Nivel 3 en el campo de Estrategia, el Nivel 4 en el campo de Inversiones, pero el Nivel 1 en el campo de Gestión de la Innovación, el nivel de

preparación en toda la dimensión es de 1. Asimismo, los seis puntajes obtenidos por cada una de las dimensiones se consolidan a través de la siguiente ponderación tomando como base 100 puntos (o un 1 punto): Estrategia y Organización – 25 (0.254); Fábrica Inteligente – 14 (0.143); Productos Inteligentes – 19 (0.185); Servicios Basados en Datos – 14 (0.138); Operaciones Inteligentes – 10 (0.102) y Empleados – 18 (0.179). Esta fórmula fue determinada preguntando a las empresas evaluadas la importancia relativa de cada dimensión para la implementación de Industria 4.0 (Lichtblau et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente, para medir el nivel de preparación se definieron criterios por cada uno de los campos a evaluarse, los cuales deben de cumplirse para pasar al siguiente nivel (ver Anexo R). Esta metodología de evaluación propuesta por Lichtblau et al. (2015) puede producir tres escenarios, como se muestra en la figura 29, con respecto a la cantidad de información brindada por las empresas sujeto de estudio:

- En el escenario A, la empresa ha proporcionado la información necesaria y cumple con los criterios para el Nivel 1 pero no conoce los criterios para los Niveles 2 a 5, entonces es asignada al Nivel de Preparación 1.
- En el escenario B, una empresa no ha brindado las respuestas necesarias sobre los indicadores (valores faltantes) que forman parte de los criterios del Nivel 1 pero sí cumple con los criterios requeridos para el Nivel 2, entonces es asignada al Nivel 2 ya que se asume que sí conoce los criterios del Nivel 1.
- En el escenario C, no existe información disponible sobre la cual una empresa cumpla los criterios del Nivel 1 y tampoco cumple con ninguno de los criterios del Nivel 2, entonces es asignada al Nivel 0 dado que no se puede determinar si verdaderamente conoce los del Nivel 1.

**Figura 29: Implementación empírica de la medición del nivel de preparación**

	Satisfacción de uno o más criterios						Resultado
	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
A	Sí	Sí	No	No	No	No	Nivel 1
B	Sí	Valores faltantes	Sí	No	No	No	Nivel 2
C	Sí	Valores faltantes	No	No	No	No	Nivel 0

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

### **6.3. Fase 3 del modelo metodológico**

Para la tercera fase del análisis en la investigación, se optó por utilizar una estrategia en la que se podía utilizar la información obtenida en las entrevistas con los colaboradores y/o gerentes de las empresas para poder describir a profundidad las características clave de las organizaciones sujeto de estudio que, posteriormente, permitirían responder a las preguntas de investigación y complementar el marco contextual (Yin, 2018). De esta manera, para este conjunto de entrevistas también se generaron transcripciones literales de la información recabada como punto previo al proceso de codificación, lo que permitió clasificar y categorizar la información según los aspectos que resultaban relevantes conocer para contrastar los resultados del modelo de Lichtblau et al. (2015) y posteriormente presentar los lineamientos estratégicos (Gibbs, 2012). Cabe destacar que este proceso se realizó tomando en cuenta un conjunto de códigos relacionados a las características habituales de una organización (estrategia, procesos, fábrica, maquinaria, empleados); pero, se mantuvo la posibilidad de identificar otras categorías vinculadas a todos aquellos aspectos que tenían vinculación con la Industria 4.0, objeto de estudio principal de la investigación (Gibbs, 2012) (ver Anexo S).

Por otro lado, se consideró pertinente tomar en cuenta que el análisis de las entrevistas realizadas a los colaboradores que formaban parte de las empresas caso de estudio, también deba vincularse y validarse con lo mencionado por sus proveedores. Por este motivo, la información de las empresas y aquella obtenida de los proveedores fue estructurada en una tabla de doble entrada que permitía analizarla en detalle; es así que, el proceso de codificación permitió facilitar la recuperación de los segmentos de entrevistas más importantes e identificar aquellos que tenían relación sobre los conceptos trabajados en el marco teórico y contextual, principalmente sobre la relación entre los actores de la cadena de suministro (Yin, 2018).

Ahora bien, el objetivo clave de esta tercera fase de análisis cualitativo era la descripción detallada de ambas empresas que formaron parte de la investigación; además, la descripción del funcionamiento de su cadena de suministros y los actores que forman parte de ella. Se debe mencionar que, por el lado de las entrevistas a Textil del Valle, también se buscó identificar diversos proyectos de implementación de la Industria 4.0. Todo esto se vincula a, como menciona Yin (2018), una estrategia descriptiva de los casos. El análisis también utilizó una técnica de coincidencia de patrones entre lo mencionado por las empresas sujeto de estudio y la perspectiva del funcionamiento que los proveedores tenían de ella, lo que permitió, posteriormente, tener un panorama con mayor claridad sobre las diferencias que existen entre cada caso de estudio y establecer un alcance realista de la estrategia a ser diseñada.

## 7. Objetividad y calidad de la investigación

La calidad y objetividad de esta investigación ha sido guiada por la ejecución de diferentes tácticas, como se muestra en la tabla 25, en diversas fases del caso de estudio, con el objetivo de cumplir las pruebas de validez y fiabilidad que Yin (2018) propone: (1) validez del constructo, referido a la correcta selección de las medidas operacionales para la medición de los conceptos a ser estudiados y (2) fiabilidad, referido a demostrar en qué medida los procedimientos de recolección de datos pueden ser repetidos con los mismos resultados.

**Tabla 25: Criterios de validez y fiabilidad de la investigación**

Prueba	Táctica de estudio de caso	Fase de investigación aplicado
Validez del constructo	Uso de múltiples fuentes de evidencia	Recolección de datos
	Mantener una cadena de evidencias Revisión del reporte preliminar del estudio de caso por informantes	Redacción del informe
Fiabilidad	Uso de protocolo de estudio de casos	Recolección de datos
	Desarrollar una base de datos del estudio de caso	Recolección de datos

Adaptado de Yin (2018)

Con respecto a la validez del constructo, dando cuenta de la fidelidad con que se muestra el fenómeno investigado, se utilizaron dos tácticas. En primer lugar, a lo largo de la recolección de datos, se siguió el principio de triangulación según Patton (como se citó en Yin, 2018) a través de: (1) múltiples fuentes de evidencia (triangulación de datos), donde la información obtenida en la encuesta, las entrevistas y la literatura convergen en los hallazgos; y, (2) múltiples investigadores (triangulación de investigadores), quiénes llevaron a cabo de manera conjunta las entrevistas y analizaron toda la información de manera independiente, pero comparando los hallazgos encontrados. En segundo lugar, se mantuvo una cadena de evidencias que permite al lector seguir la derivación de la evidencia desde las preguntas de investigación hasta los hallazgos finales. Finalmente, la información que se utilizó fue revisada por informantes clave y los propios participantes, lo que permitió corroborar la evidencia presentada e incrementar la credibilidad de los datos obtenidos en el trabajo de campo (Yin, 2018).

Por otro lado, el criterio de fiabilidad para reducir los errores y sesgos en la investigación se cumplió a través de dos tácticas. En primer lugar, se utilizó un protocolo de estudio de casos como instrumento guía para el proceso de recolección de la información. En segundo lugar, se documentó detalladamente todo el procedimiento realizado en el caso de estudio, teniendo en cuenta cómo se utilizaron los instrumentos en el trabajo de campo, bajo cual contexto y momento se llevaron a cabo, y cómo se analizó dicha información. Además, se desarrolló una base de datos con toda la información recopilada a lo largo de la investigación, ya sea de las entrevistas realizadas a expertos de la Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones como de aquellas

entrevistas y encuestas llevadas a cabo con los colaboradores de las empresas que formaron parte de los casos estudiados, con el fin de que se pudieran preservar los datos en una forma recuperable para la fase de análisis y/o revisión posterior de la tesis.

## **8. Criterios éticos de la investigación**

La investigación fue desarrollada siguiendo ciertos criterios éticos que permitieron diseñar el estudio de casos y desarrollar el proceso de recolección de la información de manera adecuada, sin buscar modificar o alterarla en beneficio propio. En primer lugar, se obtuvo el consentimiento informado de todas las personas que formaron parte del estudio de caso, alertándoles sobre la naturaleza de la tesis y solicitando formalmente su voluntariado para participar en ella. En segundo lugar, se les explicó a todos los informantes que los resultados que serán planteados dentro de la investigación no generarán ningún perjuicio institucional, profesional o personal con relación a los datos recabados; y, se dejó en claro que toda la información sería utilizada para los fines académicos respectivos (Noreña, Alcaraz-Moreno, Rojas y Rebolledo-Malpica, 2012).

Con respecto a las entrevistas realizadas, los investigadores generaron un ambiente donde el entrevistado pueda sentirse cómodo y tenga la confianza de exponer sus opiniones de forma libre; además, se buscó no influir en sus respuestas y no imponer ningún juicio sobre lo dicho por los informantes. Por otro lado, todas las grabaciones de audios y videos fueron realizadas siguiendo un protocolo específico de autorización que debía ser señalado por los investigadores al inicio de cada entrevista. En este protocolo se detallaban los objetivos por los cuales se requería de su participación en la investigación y la importancia de contar con dichas grabaciones para desarrollar el proceso de análisis de información (Noreña et al., 2012).

## **9. Flujograma de trabajo**

Para la presente investigación se siguió una secuencia metodológica dividida en tres fases como se muestra en la figura 30: la fase exploratoria, la fase de trabajo de campo y la fase de validación de hallazgos y propuesta. Con respecto a la primera fase, se realizó una revisión crítica de la literatura con el fin de tener claridad sobre el tema a investigar y la problemática identificada. Se tuvo la primera aproximación con una de las organizaciones sujeto de estudio a través de una visita grabada en audio con el propietario y gerente principal de Confecciones Polcyr S.R.L. que consistió en un recorrido por todos los almacenes y plantas, así como la explicación de su situación, giro de negocio, estrategias y características generales. Por otro lado, la fase exploratoria llevada a cabo con Textil del Valle S.A. fue a través de entrevistas iniciales con el Gerente de Operaciones Textiles y Desarrollo de Producto dónde se dio a conocer información general de la empresa.

Previamente a la segunda fase, se diseñaron las herramientas de recolección de información que se utilizaron para las entrevistas a expertos de Innovación y/o Industria 4.0 a nivel local e internacional para la validación de la teoría y metodología a ser utilizada; además, se desarrollaron las guías empleadas en las entrevistas realizadas a los sujetos de estudio. En el caso específico de la encuesta para medir el nivel de preparación, esta fue digitalizada para ser aplicada a los gerentes y proveedores de las empresas. A partir de ello, la segunda fase consistió en la aplicación de las herramientas de recolección de información anteriormente descritas y la posterior codificación y categorización de las variables de estudio e información recopilada en el trabajo de campo.

La tercera etapa de la investigación estuvo vinculada al análisis de la información obtenida con los instrumentos siguiendo la estrategia definida para lograr la validación de los objetivos de investigación. A partir de ello, se presentaron los resultados del trabajo de campo, el análisis realizado y la propuesta de la ruta estratégica a seguir por la mediana empresa para la implementación inicial de la Industria 4.0. Finalmente, se determinaron las conclusiones de la investigación y se establecieron las recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas a la temática central de esta tesis.

**Figura 30: Flujoograma de trabajo**



Adaptado de Yin (2018)

## CAPÍTULO 5: HALLAZGOS Y PROPUESTA

En este apartado se presentan los hallazgos y/o resultados de la aplicación de los instrumentos desarrollados para cada una de las fases que forman parte del proceso metodológico presentado en la sección anterior como se muestra en la figura 31. En primer lugar, se aborda el análisis de las entrevistas desarrolladas a expertos para la validación de los factores críticos requeridos para el proceso de implementación de la Industria 4.0. En segundo lugar, se presenta el nivel de preparación para la Industria 4.0 de ambos sujetos de estudio, así como la comparativa de cada una de las dimensiones que forman parte del modelo utilizado. En tercer lugar, se presentan los diversos proyectos que Textil del Valle ha implementado y que se vinculan con las diversas características descritas sobre la Industria 4.0 a lo largo de la investigación. Finalmente, se presenta la ruta y los lineamientos estratégicos que permitan a Confecciones Polcyr pueda iniciar su proceso de implementación de las tecnologías y/o procesos de la Industria 4.0.

**Figura 31: Síntesis de hallazgos de la investigación**

OBJETO	FUENTE	MODELO DE ANÁLISIS	INDICADORES	HALLAZGOS	OBJETIVOS
Factores Clave de Preparación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatura académica</li> <li>Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil - Confecciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de literatura</li> <li>Proceso y criterios de codificación, sistematización, jerarquización de información de entrevistas (Gibbs, 2012; Coffey &amp; Atkinson, 2003; Glasser &amp; Strauss, 1967)</li> <li>Técnica de análisis: coincidencia de patrones (Yin, 2018)</li> </ul>	Nivel de impacto y adecuación del factor en la Industria 4.0 y el Sector Textil - Confecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validación de los 5 factores clave como áreas fundamentales para la implementación de la Industria 4.0; no obstante, se resalta la menor influencia del factor Productos Inteligentes de acuerdo con las características del sector Textil - Confecciones</li> <li>Se reconoce la importancia del factor de Liderazgo y Compromiso de la gerencia como elemento transversal que posibilita el proceso de implementación de la Industria 4.0</li> <li>Los modelos se estructuran mediante dimensiones, niveles, criterios de cumplimiento y resultados que permiten estructurar acciones. Se requiere articular una estrategia de implementación de la industria 4.0, a través del análisis de los resultados, con las características de la empresa. Se deben integrar ajustes a los modelos que permitan mayor accesibilidad de uso por parte de las PyMES.</li> <li>Polcyr presenta nivel 0 en todas las dimensiones. Presenta cierto nivel de inversión en tecnología, mas dicha inversión no sigue una estrategia articulada hacia la Industria 4.0. Textil del Valle presenta nivel 3 en las dimensiones de Operaciones Inteligentes y Empleados; nivel 2 en Estrategia y Organización, y Fábrica Inteligente, y nivel 0 en Productos Inteligentes y Servicios basados en datos. Dichos resultados van acorde con su estrategia de excelencia operacional a través de las mejoras en tecnología</li> <li>Textil del Valle ha ejecutado proyectos de implementación de Industria 4.0 en las áreas core de la empresa con el objetivo de alcanzar la excelencia operativa, utilizar información en tiempo real, digitalizar procesos, automatizar procesos y controlar maquinaria, lo que se encuentra alineado a su visión personalizada de la Industria 4.0.</li> <li>Un roadmap debe contener 3 etapas clave: (1) Evaluación: involucra el desarrollo de un entendimiento común y realizar una evaluación del nivel de preparación; (2) Planeación: identificar brechas y oportunidades, determinar la visión a futuro y determinar los campos de acción específicos; (3) Implementación: aplicación y mantenimiento continuo</li> <li>Finalmente, para desarrollar cada una de las etapas se recomienda tener en consideración ciertos inputs detallados en la propuesta</li> </ul>	O.E. 1
Modelos de Preparación y Madurez	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatura académica</li> <li>Expertos de Industria 4.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión crítica de la literatura</li> <li>Validación metodológica a través de información obtenida de entrevistas</li> </ul>	Vinculación con factores clave y requerimientos de las PyMES		O.E. 2
Nivel de Preparación para la Industria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerencia General y Gerente de Operaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación del nivel de preparación para cada dimensión del modelo de Lichblau et al. (2015)</li> </ul>	Cumplimiento de criterios por cada dimensión del modelo de Lichblau et al. (2015)		O.E. 3
Proyectos de implementación de Industria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerente General</li> <li>Gerente de Operaciones</li> <li>Jefes de Áreas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proceso y criterios de codificación, sistematización, jerarquización de información de entrevistas (Gibbs, 2012; Coffey &amp; Admison, 2003; Glasser &amp; Strauss, 1967)</li> <li>Técnica de análisis: coincidencia de patrones (Yin, 2018)</li> </ul>	Cumplimiento de características de un proyecto de implementación 4.0		O.E. 4
Roadmap para el proceso de implementación de la Industria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Literatura académica</li> <li>Gerencia General y Gerencia de Operaciones de las empresas sujeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estrategia de análisis de información de caso de estudio basado en proposiciones teóricas y en datos de campo (Yin, 2018)</li> <li>Herramienta de soporte de toma de decisiones Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1990)</li> </ul>	Cumplimiento de características de un roadmap 4.0 aplicable para el sector Textil - Confecciones		O.E. 5

Nota: Para mayor detalle, revisar Matriz de Consistencia en Anexo H

### 1. Validación de los Factores Clave de preparación para la implementación de la Industria 4.0

En el marco teórico se profundizó sobre los factores críticos que resultan vitales desarrollar para que una empresa pueda implementar los procesos y/o las tecnologías que forman parte de la Industria 4.0. De esta manera, se resaltó la importancia de: (a) diseñar una estrategia organizacional que acompañe el proceso de transformación de las organizaciones hacia esta Industria; (b) incrementar el nivel de digitalización de cada uno de los procesos en cada área y nivel organizacional; (c) digitalizar la cadena de suministros para que sea el instrumento indicado

para obtener todos los beneficios de la Industria 4.0; (d) fortalecer las competencias de los trabajadores para que puedan adaptarse a los cambios en la estructura, procesos y formas de trabajar requeridas por esta transformación; y, (e) dotar de “inteligencia” a los productos, servicios y la propia fábrica con la intención de que se pueda optimizar la toma de decisiones autónomamente. Posterior al desarrollo del trabajo de campo y a través de la información recabada con expertos, se ha logrado validar y contrastar algunas de las características y dimensiones de estos cinco factores señalados por la teoría (ver Anexo T).

### **1.1. Estrategia Organizacional**

Con respecto al diseño y ejecución de la estrategia organizacional, los expertos permitieron validar ciertos requerimientos que deben tomarse en cuenta para que el proceso de transformación e implementación de la Industria 4.0 sea exitosa. En primer lugar, la importancia de incluir una evaluación general de las capacidades que la organización cuenta y requiere para iniciar el proceso mismo de implementación. En segundo lugar, la necesidad de personalizar su propia visión y objetivos que se desean alcanzar al convertirse en una empresa de la Industria 4.0. En tercer lugar, se discutió sobre cómo el diseño de proyectos específicos con una periodicidad y unos recursos asignados resulta ser la mejor alternativa al estructurar una estrategia de adopción de la tecnología 4.0. En cuarto lugar, se rescató la asociación con diversas organizaciones con mayor conocimiento sobre la Industria 4.0 permitiría apalancar la estrategia y fortalecerla. Finalmente, se validó la inversión financiera como aspecto clave de este proceso de implementación, pero se identificó que esta inversión debe ser selectiva y alinearse a los retornos de los proyectos a ser implementados.

#### ***1.1.1. Diagnóstico y visión personalizada de Industria 4.0***

En primer lugar, los expertos, a través de las entrevistas, resaltan la importancia de realizar un análisis diagnóstico inicial de la organización como primer paso para el desarrollo de una estrategia organizacional 4.0. Jaione Ganzarian hace énfasis en el primer eslabón del desarrollo de la nueva estrategia, ya que "nosotros realizamos un pequeño diagnóstico inicial, situamos cómo está la empresa y a partir de ahí, identificamos un proyecto de Industria 4.0 en función a su capacidad" (comunicación personal, 11 de mayo, 2020). Como se mencionó en el marco teórico, la formulación de una nueva estrategia organizacional debe desarrollar un roadmap específico que deben de seguir las organizaciones para integrar su estrategia actual, objetivos específicos y necesidades de clientes a las nuevas demandas y principios clave de la Industria 4.0; tomando en cuenta los recursos disponibles, riesgos potenciales e impacto esperado (Erol et al., 2016; Ganzarain y Errasti, 2016; Moeuf et al., 2019).

En este sentido y haciendo referencia a lo mencionado, Jian Qin indica que "la estrategia es analizar primero a su empresa y centrarse en lo que cree que es lo más importante, e intente construir o mejorar esta parte" (comunicación personal, 28 de abril, 2020); Jaime Sotomayor menciona que "lo segundo es identificar si tenemos las capacidades internas o no" (comunicación personal, 11 de abril, 2020); y Alfredo Pérsico resalta "hacer un diagnóstico de capacidades, de activos tecnológicos, del mercado, cómo está la demanda y la oferta en función de tu rubro, y de las capacidades gerenciales que se deben tener para la lectura de este tipo de analítica digital" (comunicación personal, 19 de abril, 2020). Todos mencionan los factores a ser diagnosticados y tomados en cuenta antes del desarrollo de la estrategia organizacional.

Además, el hecho de realizar un diagnóstico inicial de la situación de la organización es relevante ya que se busca que la empresa desarrolle su propia comprensión de la Industria 4.0 que vaya alineada a su visión actual y necesidades (Ganzarain y Errasti, 2016). Sameer Mittal resalta la importancia de que la empresa cuente con una visión personalizada de la Industria 4.0 que tome en cuenta sus requisitos y necesidades (comunicación personal, 4 de mayo, 2020), Jaime Sotomayor define la relevancia de especificar una visión de la empresa que tome en cuenta las nuevas tecnologías a adoptar (comunicación personal, 11 de abril, 2020) y Alfredo Pérsico señala la importancia de definir el "hasta dónde quieres llegar" con respecto a la Industria 4.0 ya que los requisitos de las empresas no son los mismos en cuanto al desarrollo de tecnologías y adopción de principios de este nuevo paradigma organizacional (comunicación personal, 19 de abril, 2020).

### ***1.1.2. Proyectos específicos de la Industria 4.0***

En segundo lugar, los autores mencionan la importancia de identificar los campos estratégicos de acción que les permitan a las organizaciones implementar la Industria 4.0 dentro de sus procesos (Erol et al., 2016); asimismo, es preciso transformar la estrategia planteada inicialmente a partir del diagnóstico, en iniciativas concretas e hitos potenciales con el fin de materializarlas (Ganzarain y Errasti, 2016). En línea con estas afirmaciones, Andreas Schumacher menciona que las iniciativas y soluciones de Industria 4.0 se deben implementar en el mediano plazo (1.5 años por iniciativa) con permiso de prueba y fracaso (comunicación personal, 15 de mayo, 2020); asimismo, Jaione Ganzarian menciona que se deben de realizar diversos proyectos tomando en cuenta un alcance temporal dentro de un roadmap (comunicación personal, 11 de mayo, 2020). Adicionalmente, Jian Qin sugiere centrarse en un sistema de fabricación específico con el fin de mejorar el nivel de inteligencia y control de las maquinarias (comunicación personal, 28 de abril, 2020) y Sameer Mittal menciona la importancia de mejorar la cadena de suministro a través de iniciativas destinadas a los sistemas ciber físicos y análisis de datos (comunicación personal, 4 de mayo, 2020).

### ***1.1.3. Asociación con otras organizaciones***

Por otro lado, un factor diferencial que no fue rescatado del análisis bibliográfico pero que se menciona continuamente en las entrevistas con expertos, especialmente para el caso de las PyMES, es la asociación con otras organizaciones como parte de la estrategia organizacional hacia la Industria 4.0. Jaime Sotomayor, Jian Quin, Paulo Pecas y Jaione Ganzarian resaltan la gran importancia de contar con un aliado externo que apoye al proceso de transformación digital de la empresa, ya que “hace mucho más sentido es asociarse, aliarse con alguna otra institución que se especializa en eso, ya sea una universidad, un FabLab, un centro de excelencia o algo, o una StartUp” (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020); además, "los proyectos pueden ser desarrollados en conjunto con las universidades, estas podrían realizar la investigación sobre qué tecnologías requiere una empresa para poder recolectar la data que necesita" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020); y, finalmente "estamos hablando de medianas y pequeñas, normalmente no tienen este enfoque y no tienen tiempo de visualizar la visión hacia la Industria 4.0. Entonces es importante el apoyo externo, de hecho, así lo hacemos normalmente" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020).

### ***1.1.4. Inversión Financiera***

Finalmente, dentro del marco contextual se hizo énfasis en la falta de capital como uno de los principales factores limitantes de las PyMES en su proceso de transformación digital hacia la Industria 4.0; la falta de recursos financieros representa una barrera de entrada para este tipo de empresas cuando intentan implementar dichas iniciativas (Huang et al., 2019). Respecto a ello, los expertos resaltan esta limitante y mencionan dos aspectos: (1) la importancia de comprender que no necesariamente implementar Industria 4.0 tiene que ser excesivamente caro y (2) tener en cuenta que el retorno de la inversión no es claro en términos financieros, pero sí en términos de mejora en eficiencia operativa y competitividad. Es relevante integrar estos aspectos en el desarrollo de una estrategia hacia la Industria 4.0; Sameer Mittal y Paulo Pecas hacen énfasis en el hecho de que los costos se han reducido en términos de tecnologías necesarias para cumplir con los principios de esta nueva Industria y Alfredo Pérsico menciona que “una mediana empresa te puede esperar de 3 a 5 años; una PyME el primero ya quiere tener ganancias, *quick wins*. Entonces, eso es un poco la diferencia de los *timings* que tienes para poder sentir que tu empresa hizo una inversión que ayudó a tu negocio a crecer" (comunicación personal, 19 de abril, 2020).

## **1.2. Nivel de digitalización de la organización**

En la revisión teórica se evidenció la relevancia del nivel de digitalización dentro de las organizaciones para la implementación de la Industria 4.0 (Sony y Naik, 2019). Por su parte, la información recopilada a través de las entrevistas permitió identificar cuatro aspectos iniciales a

considerar para empezar la escalabilidad digital de las organizaciones hacia la transformación 4.0. En primer lugar, se toma en consideración la importancia de digitalizar la información de la organización como uno de los primeros pasos, sobre todo en el caso de la PyME. En segundo lugar, se reconoce importante digitalizar ciertos elementos clave que dependerán en gran medida de los objetivos y la estrategia que adopte la empresa para asegurar el correcto funcionamiento de sus procesos. En tercer lugar, se contempla la necesidad de contar con dispositivos que faciliten la captura de información para una mayor transparencia; y, finalmente, la conexión entre sistemas de información que permita integrar y controlar los procesos.

### ***1.2.1. Digitalización de la Información***

Tal y como se menciona en el marco teórico, tanto la recolección de data, el procesamiento de data, la difusión de data y la toma de decisiones debe progresivamente ser digital para una mejor utilización de los recursos de la organización (Storey y Song, 2017). Precisamente, a través de las entrevistas, los expertos resaltan la importancia de la recopilación de información como un paso inicial hacia el proceso de digitalización de las empresas. Más aún, en el caso concreto de la PyME, Jian Qin menciona que la recopilación de más datos es una forma eficiente de nivelar y empezar a mejorar su nivel de digitalización porque "no necesita el control totalmente automático, pero al menos primero recopila los datos y luego piensa en cómo unir todas las demás cosas" (comunicación personal, 28 de abril, 2020).

En ese sentido, Jaione Ganzarian menciona que las empresas atraviesan distintas fases para llegar a la transformación óptima digital, pero la primera comprende una fase interna en la que se mejoran procesos internos y externos de la organización; es decir, "supone que tenemos que tener todo el tema del ERP, los documentos, las facturas, las órdenes de trabajo, las órdenes de mantenimiento todo digitalizado internamente" (comunicación personal, 11 de mayo, 2020). Adicionalmente, Athos Pacchini refuerza lo mencionado indicando que "la digitalización pasa por los procesos de tener todos, todos los documentos, todos los datos, las informaciones en archivos digitales que se puede, de alguna forma, aprovechar" (comunicación personal, 1 de mayo, 2020).

### ***1.2.2. Digitalización de elementos clave***

En la teoría, los autores resaltan que la Industria 4.0 implica que, a través de los procesos de fabricación y las herramientas de soporte de fabricación, se puedan registrar una cantidad elevada de datos de actores y sensores que den soporte a las funciones de monitoreo y diagnóstico en las organizaciones (Lasi et al., 2014). En las entrevistas, Jian Qin hace énfasis en la relevancia de la digitalización como aspecto fundamental en el marco hacia la Industria 4.0 mencionando que "si no tiene un nivel razonable o suficiente para su empresa o fábrica, es realmente difícil

alcanzar el nivel de Industria 4.0" (comunicación personal, 28 de abril, 2020). Adicional a ello, el experto advierte sobre la necesidad primera de incrementar el nivel de digitalización en el caso de las empresas emergentes, incluyendo la PyME; Jian Qin menciona que ello no necesariamente significa invertir grandes cantidades de presupuesto para construir una fábrica automática, sino que el proceso dependerá en gran medida del propósito o la estrategia que adopte la organización (comunicación personal, 28 de abril, 2020).

Continuando con lo mencionado acerca del tipo de digitalización que la empresa desea lograr y el objetivo de ello, Jian Qin (comunicación personal, 28 de abril, 2020) indica que una vez que sabemos eso, sabemos en qué factor o en qué parte de la fábrica debemos enfocarnos, probablemente podremos reconocer si debe ser en una máquina o en la línea de fabricación o incluso en toda la fábrica. Por su parte, Athos Pacchini coincide en sugerir que la digitalización es un proceso escalable que se va empleando conforme a la necesidad de la empresa y agrega que podría iniciarse con la construcción de una estructura digital (comunicación personal, 1 de mayo, 2020). En el mismo sentido, dentro del contexto del sector Textil - Confecciones, se resalta la significativa relevancia de digitalizar procesos para aumentar la eficiencia en la operación, tal y como lo menciona el jefe de desarrollo de prenda de Textil del Valle al decir que "si una empresa textil no tiene digitalización y software muere, definitivamente muere, muere en el tiempo ¿Por qué? Porque la digitalización es meter información y liberar información para la planta" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

### ***1.2.3. Conectividad de dispositivos***

Como se ha mencionado en el marco teórico, el hecho de equiparse de sensores permite a las organizaciones capturar información para una mayor transparencia tanto en la planificación como en la operación, además de permitirle a los propios sistemas tomar decisiones de manera autónoma (Lichtblau et al., 2015; Sony y Naik, 2019). En ese sentido, en las entrevistas, uno de los expertos menciona que "tienes que saber perfectamente que el internet y los dispositivos que puedas tener dentro de la planta tiene que ser un factor esencial: la conectividad de tus dispositivos y el permanente uso de la conectividad es crucial" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020). Athos Pacchini, también sugiere que "debe tener sensores, una de las tecnologías para comunicación podría ser un RFID que los sensores estarían informando" (comunicación personal, 1 de mayo, 2020).

Además, Alfredo Pérsico (comunicación personal, 19 de abril, 2020) explica que existen niveles anteriores antes de lograr la automatización completa de la organización y menciona que el primer nivel está justamente relacionado a la evaluación de las capacidades a nivel de dispositivos con los que cuenta la empresa; luego, una evaluación a nivel de operaciones y la

capacidad de poder tener data sobre dichos dispositivos en tiempo real. Por su parte, Sameer Mittal pone sobre la mesa la creciente accesibilidad en costos para adquirir dichos sensores que permiten la integración de sistemas; por lo que, "con la ayuda de esos sensores asequibles o sensores muy económicos, ahora los sistemas se pueden conectar a ERP. ... todos no pueden hacer eso y de manera similar ahora hay más uso de ERP disponible" (comunicación personal, 4 de mayo, 2020).

#### ***1.2.4. Conexión entre sistemas de información***

En la revisión de literatura, los autores señalan la necesidad de contar una producción altamente automatizada, donde los sistemas de manufactura, producción, distribución y los elementos dentro de ellos, se coordinan, controlan y monitorean por sí mismos con poca intervención humana (Bassi, 2017; Meyer et al., 2009; Weyer et al., 2015; Zuehlke, 2010). Al respecto, a través de las entrevistas, los expertos refieren la importancia del uso y conexión entre sistemas de información como Athos Pacchini cuando menciona que "la empresa debería tener un ERP, un software para controlar todo [...] Un Sistema de MES para poder conversar entre el ERP en tiempo real con todas las áreas y la manufactura" (comunicación personal, 1 de mayo, 2020).

Además, en las entrevistas se plantea que, gracias a la comunicación entre sistemas, se puede lograr un siguiente nivel en el que se puede definir un sistema de planificación de recursos donde se tenga "un ERP que te permita ya tener todos los procesos incluso de qué requieres, qué necesitas, qué está en stock, qué tienes que comprar en función de los pedidos y la demanda generada; todo eso ya lo tienes automatizado" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020). La teoría menciona que parte fundamental de la Industria 4.0 es el hecho de que los sistemas puedan brindar soporte completo y se encuentren integrados con todos los procesos de la empresa (Hofmann y Rüsch, 2017; Lichtblau et al., 2015; Sony y Naik, 2019). Sin embargo, cabe resaltar el aspecto de escalabilidad de acuerdo con las necesidades de la organización, sobre todo en el contexto de la PyME. En relación con ello, Sammer Mittal destaca que "al menos, cuando se trata de PyME, tal vez no necesiten un sistema ERP completo, pueden ir a ese módulo particular de ERP y usar estos sensores, donde pueden almacenar y analizar la información" (comunicación personal, 4 de mayo, 2020).

### **1.3. Grado de digitalización de la cadena de suministros**

Con respecto al grado de digitalización de la cadena de suministros, al profundizar sobre las diversas características que forman parte de este factor al dialogar con los expertos de la Industria 4.0 se logra comprender que se deben tomar en cuenta diversos aspectos para que se pueda desplegar todo el potencial de la implementación de la Industria 4.0. En primer lugar, se

requiere que una empresa que desea iniciar el proceso de implementación pueda obtener la capacidad de que la información que se genera en cada uno de los procesos de toda la cadena de suministros sea accesible y transparente para los actores que participan de ella. En segundo lugar, se reconoce como parte fundamental de la digitalización de la cadena de suministros el proceso de integración vertical y horizontal de los sistemas para que la planificación sea más efectiva. En tercer lugar, resulta vital contar con una correcta selección de proveedores que brinden la tecnología que permitirá digitalizar la cadena de suministros y capaciten al personal que la utilizará. Finalmente, la necesidad de tener en consideración el aspecto comunicacional entre los actores de la cadena con el propósito de optimizar la colaboración para alcanzar sus objetivos.

### ***1.3.1. Transparencia de Información***

Según se pudo observar en la teoría, la cadena de suministros de las empresas que formen parte de la Industria 4.0 se convertirá en un ecosistema donde los diversos actores comparten información clave; ya que, tanto proveedores, la misma empresa y los clientes comienzan a colaborar en distintas actividades de creación de valor para alcanzar objetivos en conjunto (Kayikci, 2018; Müller et al., 2018; Schuh et al., 2014). Por consiguiente, la cadena de suministros de la Industria 4.0 requiere de manera imperante que proveedores, empresa y clientes se encuentren alineados sobre los objetivos que se desean alcanzar con esta transformación; por lo que, cuando se inicie la planificación entre ellos, se deben contemplar los beneficios que este cambio conllevará para los actores porque “la cadena de suministros es una situación en la que todos ganan, ..., si uno de ellos pierde [refiriéndose a no digitalizarse], entonces todos los jugadores en la cadena de suministros con el tiempo van a perder” (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020).

Además, un aspecto importante para que este ecosistema efectivamente pueda desarrollarse es la necesidad de superar las restricciones existentes en los espacios donde las empresas comparten esta información donde Jaione Ganzarain (comunicación personal, 11 de mayo, 2020) resalta que “se supone que todo lo que se haga tiene que estar contrastado y conectado, esta es la primera barrera. Si todavía no tenemos una información compartida en todo el proceso productivo, no hacemos nada”. Por otro lado, Jaime Sotomayor (comunicación personal, 11 de abril, 2020) nos proporciona una visión clara de cómo se caracteriza una cadena de suministros 4.0: “mi respuesta corta es que sea imperceptible, que sea tan sencillo, tan transparente, toda la comunicación, el sistema, los procesos, tan integrado entre cada una de estas personas y entidades que sea tan difícil de poder distinguir”. No obstante, también resalta saber utilizar la información porque “el hecho de que haya más información no significa que haya mayor transparencia, sino hay que saber cómo transportarla y ponerla visible para que sea transparente” (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020).

### ***1.3.2. Integración vertical y horizontal de los sistemas***

El segundo aspecto que resulta interesante mencionar es cómo la empresa que desea alcanzar el nivel de Industria 4.0 requiere integrar vertical y horizontalmente los sistemas que utiliza para poder planificar la demanda y producción con la información no solo interna sino también aquella externa dada por los proveedores y/o clientes. Este nivel de integración alcanzará su mayor potencial cuando “el mismo sistema del ERP que ya tienes automatizado les pide a los proveedores la demanda que requieren [...] manda la información y los proveedores ya tienen sistemas articulados para leer lo que ese ERP te está pidiendo” (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020). No obstante, cuando entra en juego los acuerdos y las condiciones que la empresa debe definir con sus proveedores, se deben establecer aquellos softwares o sistemas que permitirán la correcta integración de esta información; ya que, “parte de la condición de ser parte de la cadena de suministros que yo tengo es que tú automatices este proceso y adoptes este software para poder mantenernos comunicados” (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020).

### ***1.3.3. Proveedores de tecnología para digitalizar***

Siguiendo sobre el mismo punto, la digitalización de la cadena de suministros conlleva la implementación de sistemas o tecnologías que incorporen la mayor cantidad de sensores o etiquetas RFID que le permitirán a la propia organización utilizar la información en línea y en tiempo real para lograr mayores niveles de eficiencia y efectividad en sus procesos (Barreto et al., 2017). No obstante, el proceso de adquisición e implementación de esta tecnología dentro de la cadena de suministros requiere de la participación de un actor clave: el proveedor de la tecnología misma. Es decir, cuando la organización, especialmente las PyMES, desea iniciar el proceso de digitalización de su cadena de suministros necesita contar con un proveedor que responda a tres elementos clave para realmente obtener los beneficios de este cambio: “cuánto maximiza la eficiencia y productividad [...]; cómo se va a desarrollar el proceso de curva de aprendizaje para la adopción de esta tecnología; y, cómo es el sistema de los recambios tecnológicos y cuáles son los planes de mantenimiento” (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020).

### ***1.3.4. Comunicación entre actores***

Finalmente, todo este proceso de digitalización de la cadena de suministros toma sentido cuando la implementación de la tecnología cumple el objetivo de facilitar la colaboración entre actores a través de la comunicación. Por este motivo, Jaione Ganzarain comenta que esta transformación “supone cambiar todas las relaciones de juego en la cadena de valor con todos los agentes que existen [...] tenemos que dibujar el mapa de stakeholders e identificar una estrategia de cómo vamos a colaborar” (comunicación personal, 11 de mayo, 2020). Además, si nos

enfocamos en las características de la Industria 4.0 para las PyMES, podemos denotar que podrían existir restricciones para alcanzar el nivel de integración mencionado anteriormente; no obstante, la comunicación también es fundamental para estas organizaciones. Por este motivo, Andreas Schumacher menciona que “una cadena de suministros PyME en un entorno 4.0 debería ser un mix entre contacto informal con proveedores (apps de chats y celular) e implementaciones formales (plataformas compartidas con proveedores)” (comunicación personal, 15 de mayo, 2020).

#### **1.4. Adaptabilidad de los Empleados**

Como se comentó en el análisis de la literatura, ante las nuevas tecnologías y el cambio de procesos que implica la Industria 4.0, las habilidades tradicionales de los empleados ya no tendrán el mismo valor para las organizaciones (Pinzone et al., 2017). Por el contrario, es necesario que los trabajadores adquieran nuevas competencias para adaptarse a este nuevo entorno (Chryssolouris et al., 2013; Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015; Lichtblau et al., 2015). De esta forma, a través de la información recabada con expertos, se contrastan algunas de las dimensiones pertinentes a la adaptabilidad de los empleados y se señalan tres puntos.

En primer lugar, se valida la importancia de que los colaboradores obtengan competencias técnicas vinculadas principalmente al análisis de datos, así como competencias personales vinculadas a la capacidad crítica y creativa. En segundo lugar, se toma en consideración la relevancia de contar con un nivel de adaptación a las nuevas formas de realizar las actividades dentro de sus áreas. Finalmente, se identificó que estos cambios conllevan una reestructuración de la propia organización junto a un proceso de reasignación de los puestos actuales y la contratación de nuevo talento.

##### ***1.4.1. Nuevas habilidades y competencias***

Un punto que se destaca en el análisis de las entrevistas es la necesidad de que los empleados adquieran nuevas competencias que los mantengan acordes con los requerimientos de la Industria 4.0 y el nuevo desarrollo de la organización. Algunos expertos se enfocan en las competencias técnicas como especialización en manejo de base de datos, inteligencia artificial, principios de machine learning (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020); así como lenguaje de programación y análisis de data (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020); conocimientos acerca de TI y electrónica (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020; P. Pecas, comunicación personal, 5 de mayo, 2020). La data recolectada es coherente con la información recogida en el marco teórico donde se mencionó la necesidad de que los empleados cuenten con capacidades relacionadas al uso de TI, procesamiento y análisis de datos, comprensión y desarrollo de interfaces, tecnología de automatización, entre otros.

Además de las habilidades técnicas, se mencionó la importancia de contar con competencias personales como: habilidades de trabajo en equipo, autogestión, aprendizaje continuo, creatividad y toma de decisiones (Chryssolouris et al., 2013; Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015). En línea con estas ideas, los expertos resaltan la importancia de habilidades críticas no técnicas requeridas por los empleados para el proceso de transformación de la empresa hacia la Industria 4.0. En este sentido, Jaime Sotomayor (comunicación personal, 11 de abril, 2020) indica que el empleado que se necesita para este cambio organizacional es el del intra-empresario, quien posee autonomía, creatividad y que pueda generar diversas soluciones por su propio ingenio; por otro lado, Alfredo Pérsico (comunicación personal, 19 de abril, 2020) comenta que probablemente la Industria 4.0 reta a que las organizaciones tengan equipos de desarrollo de productos y de inteligencia competitiva, donde el talento humano debe tener capacidad crítica, capacidad creativa y capacidad estratégica, lo cual le permitirá anticiparse, detectar oportunidades y elaborar planes de acción.

#### ***1.4.2. Adaptación a nuevas formas de trabajar***

Con respecto a las nuevas formas de trabajo producto de la transformación digital se mencionan en el marco teórico tres puntos importantes: (1) se anuncia una forma de trabajo más orientada a un rol de control, monitoreo, supervisión y aplicación eficiente de máquinas; (2) mayor rotación y poder de decisión; y, (3) mayor énfasis en la modalidad de trabajo en equipo tanto intraorganizacional como interorganizacional (Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015). Con respecto a estos tres puntos, Alfredo Pérsico (comunicación personal, 19 de abril, 2020) rescata la importancia de contar con equipos dinámicos dentro de la organización, al indicar que en la Industria 4.0 probablemente se tendrán equipos que, a través de inteligencia competitiva, se dediquen al desarrollo de nuevos productos o a la mejora de los procesos, mientras otros estén enfocados en el diseño de soluciones. Asimismo, se hace referencia al rol de los empleados de supervisar los procesos que son realizados cada vez más por máquinas, pero se destaca cómo la relación y la adopción del humano con la máquina es fundamental: “son las personas que trabajan con la máquina, no renunciamos a las personas, porque creo que las máquinas no pueden reemplazar a las personas por completo [...] en el futuro las máquinas tendrán más adopción para trabajar con las personas (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020).

#### ***1.4.3. Reasignación de puestos y trabajadores***

Un punto que no fue muy relevante dentro del análisis teórico inicial, pero que cobra bastante relevancia dentro del contexto de las PyMES según las entrevistas con expertos, es la necesidad de reasignar trabajadores y contratar nuevos talentos. Como mencionan los expertos, es necesario reemplazar a los empleados por nuevos talentos con un *mindset* que guarde relación

con la situación actual – futura de la organización. Esto lo confirma Jian Qin (comunicación personal, 28 de abril, 2020) al mencionar que algunas compañías necesitan reclutar a nuevos técnicos o ingenieros que tengan conocimiento tecnológico, en lugar de capacitar a los empleados actuales; ya que, en algún momento, el costo de capacitar podría resultar mayor que contratar a uno nuevo. Además, Jaime Sotomayor (comunicación personal, 11 de abril, 2020) identifica que el obstáculo más grande para desarrollar el proceso de digitalización serán las propias personas porque desafortunadamente la empresa necesita de nuevos empleados con un mindset y conocimientos distintos que reemplazaran aquellos que no tienen la capacidad de adaptarse a los cambios.

Un proceso complementario a la adquisición de nuevos trabajadores, resulta ser la recolocación de talento a diversas áreas en donde se pueda explotar de mejor manera sus capacidades. En este sentido, Alfredo Pérsico menciona lo siguiente: “hay que recolocar talentos también, porque muchos pueden aprender y tiene que siempre abrirse la puerta al aprendizaje, pero otros se van a resistir, se van a frustrar; pero de repente su talento puede estar más en un área de prototipado, a nivel de innovación de producto. Entonces, hay que reubicar talento también, creo en el desarrollo de capacidades digitales, sí, pero también creo en la reubicación del talento en otras áreas en donde también puede ser mucho mayor” (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)

No obstante, el experto Athos Pacchini indica que "sin capacitación no podrán hacerlo. Las soft skills podrán ser aprovechadas en otras áreas que no necesitan eso, pero la absorción no sería total. Yo creo que una parte, 20-30% puede ser aprovechadas en otras áreas, pero el 100% no" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020). Estas afirmaciones evidencian que ciertas habilidades *soft* de los empleados pueden ser utilizadas en áreas creativas más que la imposición de habilidades técnicas, pero se resalta la necesidad de una continua capacitación que les permita adquirir aquellas habilidades de adaptación a la nueva tecnología de la Industria 4.0.

### **1.5. Productos, Servicios y Fábrica Inteligente**

En el marco teórico se señaló como la capacidad de “inteligencia” que puede adquirir los productos, servicios y la fábrica permiten personalizar los sistemas de producción dentro de la empresa, lo que permite recopilar, analizar y gestionar datos clave para optimizar la toma de decisiones en tiempo real (Ghobakhloo, 2018; Schmidt et al., 2015; Shrouf et al., 2014; Wang, Wan et al., 2016). Ahora bien, a través de las entrevistas a los expertos se pudieron destacar dos aspectos con mayor enfoque en los resultados que se generan a partir de la incorporación de dispositivos que permiten dotar de “inteligencia” a los productos, servicios o fábrica.

En primer lugar, se pudo observar que el producto o servicio inteligente logra incrementar el alcance hacia otros mercados, ya que genera la oportunidad de mejorar la oferta por medio de la recopilación de información sobre su uso por parte de los clientes. En segundo lugar, cuando los productos y la fábrica aumentan el nivel de captación y gestión de la información, se obtiene una mayor productividad dentro de los procesos al tomar decisiones con flexibilidad. Finalmente, se debe destacar que, por medio del análisis de las entrevistas a expertos del sector textil, los productos y servicios inteligentes regularmente no son aspectos por tomar en cuenta por las características propias del mercado.

### ***1.5.1. Nuevo alcance y oportunidades***

De acuerdo con la teoría, la oferta de las organizaciones debe apuntar a generar un sistema de productos, servicios, redes e infraestructura de soporte que están elaborados a partir de inteligencia que permita satisfacer diferentes necesidades de los clientes. En relación con ello, a través de las entrevistas, los expertos agregan que en definitiva “el producto o servicio inteligente genera un mercado más grande comparado a los productos y servicios tradicionales” (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020). Asimismo, Jaione Ganzarian añade que es un reto para todas las organizaciones porque “todas las empresas grandes y pequeñas tienen que pasar por este tema, bien smartizando productos, pasando a smartizar servicios, añadiendo servicios, incluso de alguna manera pasando a un segundo plano el producto siendo el servicio la estrella” (comunicación personal, 11 de mayo, 2020).

Adicionalmente, Andreas Schumacher resalta que las PyMES tienen un mayor potencial de desarrollo en productos y servicios inteligentes dado que “el ciclo de desarrollo de las mismas es mucho más corto que las empresas grandes: pueden jugar mejor sus cartas” (comunicación personal, 15 de mayo, 2020). Ciertamente, en la teoría se hace mención acerca del rol significativo en la flexibilidad y dinamismo del proceso productivo que posee la PyME, lo que le permite una mejor adaptación ante los cambios del mercado (Cardozo et al., 2012; Ministerio de Economía Industria y Competitividad, 2017). Finalmente, a partir de las entrevistas realizadas, se observa que el producto, servicio y fábrica inteligente posee implicancias en la apertura de nuevos mercados y en la generación de valor añadido por parte de las organizaciones; además, se resalta la viabilidad en las PyMES debido a ciertas características.

### ***1.5.2. Beneficios de los productos y fábrica inteligentes***

En el marco teórico de la investigación se menciona que el hecho de recopilar, analizar y gestionar los datos que se obtienen de toda la cadena de suministros, incluso en la etapa de post venta, son fundamentales para obtener los beneficios de la Industria 4.0 (Lichtblau et al., 2015; Shrouf et al., 2014; Wang, Wan et al., 2016). Una vez iniciado el proceso de transformación, los

expertos, a través de las entrevistas, hacen énfasis en los beneficios que dicho fenómeno genera en las operaciones de la organización. En ese sentido, Jaime Sotomayor menciona que su utilidad se encuentra en la eficiencia "o sea el poder obtener mejores márgenes en lo que estas produciendo [...] te estas basando en la gestión de conocimiento, en poner ese conocimiento a producir capital, usar esa tecnología para acortar costos" (comunicación personal, 11 de abril, 2020).

Asimismo, en el marco de los beneficios que conlleva, Jian Qin menciona que "genera beneficios en cuanto a la reducción de desperdicios y aumento en resultados" (comunicación personal, 28 de abril, 2020). Por otro lado, Eduardo Torres indica que "puede ayudar a tomar decisiones más rápidas, más flexibles, a ser más eficiente en costos" (comunicación personal, 24 de abril, 2020); además, agrega que "en todas estas cosas de cómo priorizar y optimizar es donde entra esta parte de inteligencia artificial y de predicción y de costumización ¿no? Y a la larga eso aumenta productividad" (E. Torres, comunicación personal, 24 de abril, 2020). Por último, Athos Pacchini (comunicación personal, 1 de mayo, 2020) resalta la capacidad que genera de acompañar al producto inteligente a lo largo de todo su ciclo de vida. En conjunto, los expertos mencionan los beneficios que giran en torno a la eficiencia, la toma de decisiones, el ahorro de costos y el monitoreo.

## **1.6. Liderazgo y Compromiso**

A lo largo del análisis de la literatura no se tomó en consideración el factor de liderazgo y compromiso de la gerencia; el cual, según los expertos, resulta indispensable porque se requieren movilizar y asignar recursos tanto humanos como de capital para que la implementación de la Industria 4.0 se realice con éxito. Además, tanto en las empresas grandes como en las PyMES, el proceso de digitalizar la organización, digitalizar su cadena de suministros, capacitar a sus empleados, entre otros cambios, requerirá el compromiso de la alta gerencia para que todas estas acciones o proyectos puedan alinearse en el plano estratégico, táctico y operativo hacia el objetivo final de implementar la Industria 4.0.

### ***1.6.1. Pérdida de miedo***

En primer lugar, cuando una organización debe enfocar su estrategia hacia algún horizonte a largo plazo es necesario que inicien a desarrollar proyectos específicos que les permitan obtener pequeños resultados rápidos para decidir si continúan con el proceso de implementación de la Industria 4.0. Es en este sentido que, según Paulo Pecas, si los líderes no pierden el miedo hacia el cambio, posiblemente no comprenderán que bastaría con la implementación de estas pequeñas iniciativas vinculadas especialmente a la digitalización de ciertos procesos y/o máquinas clave de la organización para observar ciertos beneficios en términos de eficiencia y monitoreo. No obstante, también evidencia la necesidad de contar con

espacios donde las organizaciones, especialmente las PyMES, puedan observar cómo utilizar esta tecnología: “laboratorios de la Industria 4.0 en las universidades, si las PyMES van a esos laboratorios, [...] no tienen cosas muy avanzadas de la Industria 4.0, tiene cosas simples, pero esos laboratorios están ahí para que la gente pierda el miedo” (comunicación personal, 5 de mayo, 2020).

### **1.6.2. Compromiso Gerencial**

En segundo lugar, otro aspecto que es destacado por los expertos es la necesidad de que los líderes de las empresas sean conscientes del potencial y las oportunidades que su organización puede obtener si deciden iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0. Siguiendo sobre el mismo punto, se ha identificado que, para motorizar los cambios que implica la Industria 4.0 dentro de una organización, se necesita un proceso inicial de convencimiento propio por parte de los líderes y ejecutar una estrategia “*top-down*”, donde sean ellos quienes establecen los objetivos, directrices, planes y/o procesos clave que deben verse modificados y comunican las expectativas por parte de cada área en respuesta a esos cambios. Este punto ha sido resaltado por Athos Pacchini, quien menciona que “si no hay concientización de los dueños, de la alta administración, de los directores, es difícil hacer algo [...] es el tipo de cosas que no pueden hacerse de abajo para arriba, debe ser de arriba para abajo” (comunicación personal, 1 de mayo, 2020). Además, Andreas Schumacher también indica que “es necesario un compromiso temprano de la gerencia” (comunicación personal, 15 de mayo, 2020), lo que detalla la relevancia de este factor en la implementación de la Industria 4.0.

Finalmente, es importante señalar que las organizaciones pueden encontrarse con la necesidad de iniciar un proceso de cambio tecnológico no solo con el objetivo de optimizar procesos, sino también para encontrar nuevas oportunidades de mercado que les permitirán convertirse en líderes de su Industria. No obstante, este cambio puede implicar también una completa reestructuración de la organización, donde deban ingresar nuevos líderes que tengan la experiencia y el compromiso para manejar correctamente el proceso de digitalización de sus áreas y procesos. Esto pudo identificarse cuando Marcos Chiok, actual gerente de manufactura de Textil del Valle S.A., comenta que “todos los procesos de cambio, como sucede en cualquier lugar, comienzan siempre de la cabeza. Entonces, nosotros primero tuvimos un cambio en la Gerencia General, [...] de otras industrias, con otras ideas, y ese fue el primer gran cambio ¿no?” (comunicación personal, 28 de mayo, 2020); asimismo, esto implicó que se renovarían los cuadros gerenciales con personas que tengan la misma visión de cambio: “comenzamos a reforzar el equipo con personas que vienen de otras industrias, [...] comenzamos a cambiar los mandos [...] Y los líderes tienen que estar bien alineados a lo que busca la compañía, porque si no esto no funciona” (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

## **2. Nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.**

### **2.1. Resultados Confecciones Polcyr S.R.L.**

A través del análisis de los resultados obtenidos en la encuesta y profundizando sobre cada uno de los puntos a través de una entrevista se obtuvo el nivel 0 en las siguientes dimensiones: fábrica inteligente, servicios basados en datos, operaciones inteligentes y productos inteligentes y empleados. Lo que brinda como resultado general ponderado de 0.000 de acuerdo con el nivel de 0 de preparación como se muestra en la figura 32, perteneciendo al grupo de los “Recién Llegadas” y siendo caracterizada como “Forastero”.

#### **2.1.1. Estrategia y Organización**

Nivel 0. Polcyr no toma en cuenta en su estrategia a la Industria 4.0 ni tiene un conocimiento claro de las características que la conforman. Por este motivo, la empresa no cuenta con indicadores que permitan medir el estatus de avance con respecto a la implementación de iniciativas de la Industria 4.0 en ninguno de sus áreas. Con respecto a las inversiones, si bien la organización tiene destinada una parte de sus ganancias o de sus préstamos financieros a invertir en maquinaria del área de producción, estas iniciativas se encuentran lejos de los requerimientos de la Industria 4.0, pero se reconoce un cierto grado de avance tecnológico por parte de la empresa, además del uso de dispositivos móviles en la organización. Finalmente, la organización no tiene un sistema que permita gestionar la innovación, por lo que se dificulta integrarla adecuadamente dentro de sus lineamientos estratégicos generales.

#### **2.1.2. Fábrica Inteligente**

Nivel 0. La empresa no cuenta con sistemas informáticos integrados como un ERP, SCM o MES ni posee respaldo por parte de algún sistema de TI en sus procesos, motivo por el cual resulta imposible aplicar iniciativas vinculadas al concepto de fábrica inteligente. Además, la empresa no ha desarrollado hasta el momento ningún proyecto piloto de la Industria 4.0 ni ha realizado un análisis costo-beneficio basado en casos de estudio o investigaciones realizadas dentro de la industria textil-confecciones. Por otro lado, si bien Polcyr recopila cierta cantidad de datos a través de sus máquinas de estampado como los tiempos de producción o la utilización de la capacidad del equipo, así como los datos sobre su inventario, estas se realizan manualmente y se busca optimizar los tiempos logísticos y de producción; asimismo, no toma en cuenta la tecnología que le permitiría obtener más datos y automatizar estos procesos. Finalmente, Polcyr no cuenta con un modelo digital de su fábrica ni ha realizado proyectos de investigación relacionados a cómo podría incrementar su nivel de preparación en esta dimensión.

### ***2.1.3. Operaciones Inteligentes***

Nivel 0. Al no contar con una adecuada fábrica que soporte los requisitos para realizar operaciones inteligentes, no se evidencian iniciativas ni primeros pasos relacionados a operaciones inteligentes. El intercambio de información interna no está integrado en algún sistema y no se ha realizado un análisis destinado a identificar qué soluciones tecnológicas podrían facilitar este aspecto. Por otra parte, la organización no presenta casos de piezas de trabajo que se guíen de manera autónoma a través del proceso productivo y no ha tomado la iniciativa de asociarse con otro tipo de organizaciones con el fin de que pueda recibir soporte y conocimiento del tema. En lo relacionado a sus procesos, no se evidencian casos de reacción autónoma de estos ante algún cambio en el entorno. Con respecto al área de TI, Polcyr no ha utilizado ninguna solución de seguridad de TI y no se han planificado medidas concretas a futuro para solucionar este punto. Finalmente, no se utiliza un análisis de datos basados en la nube, computación en nube o softwares basados en ella.

### ***2.1.4. Productos Inteligentes***

Nivel 0. Los productos desarrollados por la compañía, tales como prendas de vestir, no cuentan con las funcionalidades requeridas por la Industria 4.0 y no se presentan iniciativas para desarrollarlas. Estas funcionalidades no presentes son aquellas complementarias de las TIC como memoria del producto, autoinforme, integración, localización, sistemas de asistencia, monitoreo, información de objetos o identificación automática. Cabe destacar que los avances con respecto a esta dimensión tienen relación con la visión de producto que Polcyr cuenta; ya que, los clientes que cuenta no requieren prendas de alto coste o calidad, aspecto que se vería influenciado si se le integraran los componentes complementarios antes mencionados.

### ***2.1.5. Servicios basados en datos***

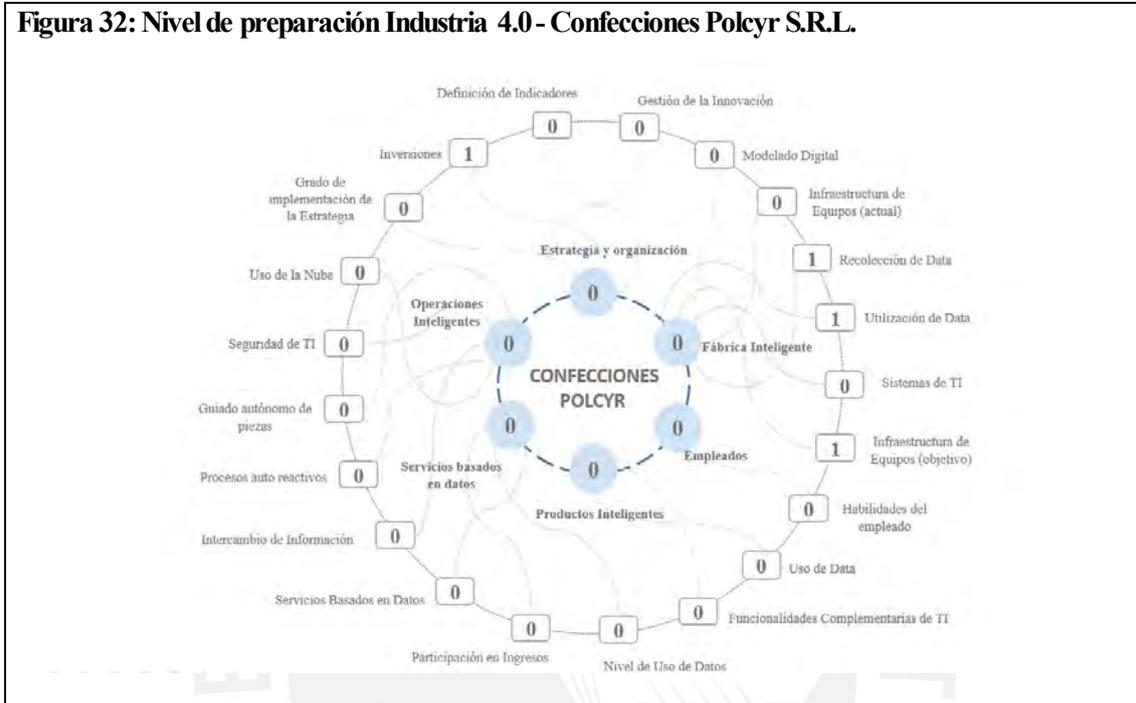
Nivel 0. La empresa no conoce el concepto de servicios basados en datos, no recolecta información de sus clientes de manera continua ni digitalizada y tampoco presenta un grado de integración con ellos de manera adecuada. Asimismo, no se han identificado las áreas en las cuales se podría aprovechar el potencial de ofrecer servicios basados en datos o planificar la integración con sus clientes para que se puedan ofrecer servicios de mayor calidad y personalización. Además, se evidencia una falta de asignación de presupuesto para este aspecto y no se tiene identificada la cantidad de datos que se utilizan para el desarrollo de los posibles servicios complementarios.

### ***2.1.6. Empleados***

Nivel 0. Actualmente, la empresa no tiene las habilidades necesarias para implementar con éxito la Industria 4.0. La totalidad de sus empleados, que son en su mayoría operarios, carecen de habilidades en áreas como infraestructura de TI, tecnología de automatización, análisis de

datos, seguridad de datos y comunicaciones, desarrollo y aplicación de sistemas de asistencia, y utilización de software de colaboración. Asimismo, no se ha realizado un análisis para identificar las áreas donde se requiera capacitación, por lo que no se cuenta con un plan de acción para cerrar estas brechas.

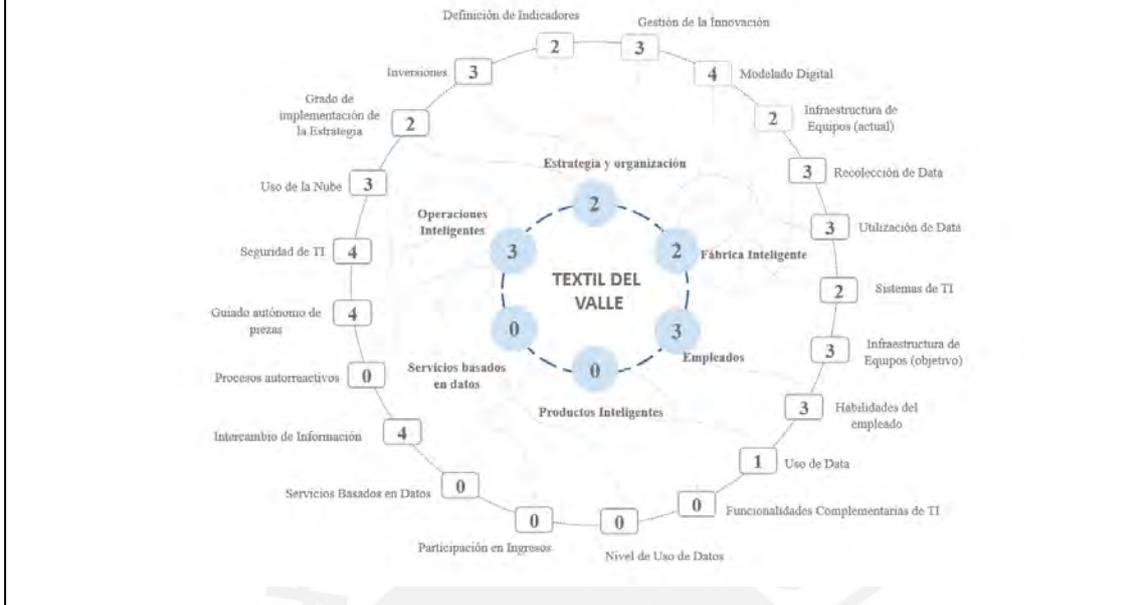
**Figura 32: Nivel de preparación Industria 4.0 - Confecciones Polcyr S.R.L.**



## 2.2. Resultados Textil del Valle S.A.

En lo que respecta a Textil del Valle, los resultados son superiores a comparación de la mediana empresa. Para este caso, la encuesta de preparación desarrollada por Lichtblau et al. (2015) fue respondida por Adán Echeandía, Gerente de Operaciones Textiles y Desarrollo de Producto (OPTEX DDP), dado que es el encargado de gestionar todos los procesos desde el desarrollo de prendas, desarrollo textil, muestras y planeamiento preproducción, tejeduría, tintorería y estampado. El nivel de preparación por cada una de las dimensiones bajo análisis es el siguiente: estrategia y organización, y fábrica inteligente tienen un nivel 2; operaciones inteligentes y empleados tienen un nivel 3; productos inteligentes y servicios basados en datos un nivel 0. Estas clasificaciones dan como resultado un nivel de preparación ponderado general de 1,637 ubicando a la empresa en nivel 2 como se muestra en la figura 33, perteneciendo al grupo de “Aprendices” y siendo caracterizada como “Intermedio”.

**Figura 33: Nivel de preparación Industria 4.0 - Textil del Valle S.A.**



A continuación, se presenta el desagregado de las dimensiones del modelo aplicado, es decir, se describirán las subdimensiones que componen cada uno de ellos y los resultados por cada uno de estos componentes.

### 2.2.1. Estrategia y organización

#### a. Grado de implementación de estrategia

Nivel 2. La empresa se encuentra actualmente con una estrategia en desarrollo hacia una visión de la Industria 4.0. La Industria 4.0 es parte del proceso estratégico, pero no se ha definido completamente. Esto se evidencia en el enfoque personalizado de su visión, la cual toma como pilar fundamental la digitalización de procesos, principalmente en las áreas de desarrollo de prenda, tejeduría, costura y acabados. Esta visión se ve reflejada en un conjunto de proyectos que progresivamente se han implementado en las áreas mencionadas.

#### b. Definición de indicadores

Nivel 2. Actualmente se cuenta con un sistema de indicadores que brinda una orientación del cumplimiento de puntos clave que conforman el objetivo de la estrategia en general. Indicadores de gestión como los PQDSM, los cuales son manejados en cada línea de costura, evidencian las mejoras que se puedan obtener a medida que se vaya avanzando en la implementación de iniciativas de digitalización planteadas en la estrategia hacia la Industria 4.0. Asimismo, la implementación del software de monitoreo para el área de tejido viene acompañado de indicadores de cumplimiento para evaluar su desempeño y para el caso del área de desarrollo de prenda, indicadores de acierto.

*c. Inversiones*

Nivel 3. La empresa, durante los dos últimos años, ha invertido en cuanto a la implementación de Industria 4.0 en una proporción grande en las áreas relacionadas a investigación, desarrollo y producción; en una proporción mediana en las relacionadas a logística y TI; y en una proporción pequeña en las de compras, ventas y servicios. Estas inversiones se evidencian en las tecnologías actuales de la compañía: tecnología de sensores, dispositivos móviles y tecnologías en la nube (infraestructura TI). Con respecto a los planes a futuro, la empresa planea durante los siguientes cinco años realizar inversiones grandes en las áreas relacionadas a investigación y desarrollo, producción, servicio y TI; y en proporción mediana en las áreas relacionadas a compras, logística y ventas.

*d. Gestión de la innovación*

Nivel 3. Con respecto a la gestión sistemática de la innovación, esta se encuentra implementada en el área de TI y en las áreas relacionadas al desarrollo de productos. Si bien la gestión de la innovación no se encuentra implementada de manera transversal en todas las áreas de la compañía, el hecho que se muestren indicios de su desarrollo en áreas aisladas es relevante para ubicarla en el nivel 3. La empresa evidencia esta política al realizar una adecuada gestión del cambio para afrontar la resistencia por parte de los empleados ante los cambios que la nueva tecnología genera en sus espacios de trabajo. Además, la empresa realiza una constante búsqueda de nueva tecnología que pueda ser utilizada en las áreas de manufactura y operaciones textiles.

**2.2.2. Fábrica Inteligente**

*a. Infraestructura de equipos (actual)*

Nivel 2. La maquinaria productiva de la organización cuenta con las siguientes facilidades desarrolladas hasta cierto punto: posibilidad de control de sistemas y máquinas a través de TI y funcionalidades de comunicación máquina a máquina. Por otro lado, no tiene disponible una infraestructura que haga posible la interoperabilidad, que consiste en la integración y colaboración con otros tipos de máquina y sistemas posibles, motivo por el cual se ubica únicamente en el nivel 2. La empresa cuenta con maquinaria moderna actualmente en el área de manufactura; además, en el área de tejeduría (Mayer y Terrot, Scholl y Loris Bellini), así como en su área de estampado, la cual incluye procesos de estampado digital en reactivo, DTG y sublimado (siendo únicamente la serigráfica la que no cuenta con características digitales). De esta manera, se presentan características de actualización hacia una mayor digitalización y control de producción.

*b. Infraestructura de equipos (objetivo)*

Nivel 3. Con respecto a la visión a futuro, la organización cuenta con maquinarias que tienen propiedades de adaptabilidad y escalabilidad en algunas funcionalidades. Es el caso de la

comunicación máquina a máquina, la cual ya se tiene parcialmente disponible; y la interoperabilidad, funcionalidad que también se encontraría a disposición por el tipo de máquinas utilizadas en las áreas de tejeduría, estampado y manufactura, las cuales son actualizables como se mencionó en el apartado anterior.

*c. Modelado digital*

Nivel 4. La empresa declara contar con un modelado digital de fábrica, ya que se encuentra recopilando datos de máquinas y procesos a lo largo del sistema productivo por medio de la implementación de diversos sistemas. Al contar con ambas funcionalidades, cumple con los criterios para ubicarse en el cuarto nivel de preparación según el modelo.

*d. Recolección de data*

Nivel 3. La recolección de data se realiza tanto de manera manual como de manera digital. Con respecto a los datos recopilados manualmente estos son los relacionados a: datos de inventario, residuos de producción (mermas), cuota de error, utilización de empleados y eficiencia general de los equipos. En lo que concierne a los datos recopilados automáticamente estos son: tiempos de producción, utilización de la capacidad del equipo, datos de posicionamiento, datos sobre el procesamiento restante y tiempos de transición. Dado que la recolección de datos de manera digital no se realiza transversalmente en toda la empresa, se clasifica en este nivel. Estos avances tecnológicos se evidencian, por ejemplo, en la recolección a través de su software in-house Legendary, el cual recoge información en tiempo real de manera manual con registro de los empleados y los recopila digitalmente en una *tablet* para el cálculo de indicadores clave como los tiempos de producción y la eficiencia.

*e. Uso de data*

Nivel 3. Los datos recolectados se utilizan de la siguiente manera: para realizar mantenimiento predictivo, mejorar la gestión de la calidad, optimizar los tiempos logísticos y de producción; además, permiten tener mayor transparencia en todo el proceso de producción, el control automático de la manufactura mediante el uso de datos en tiempo real y la optimización del consumo de recursos como la energía y los materiales utilizados. Al utilizar los datos para la optimización de procesos en diversas áreas productivas, la empresa obtiene un alto nivel en esta subdimensión. Continuando con el ejemplo del software Legendary, la información recopilada en tiempo real sobre la eficiencia productiva se utiliza para tomar acciones de optimización a través de ajustes momentáneos. Como es el caso de las decisiones de balanceo de línea productiva a través de la asignación de personal a diversas líneas en las cuales se estén generando cuellos de botella con el fin de incrementar el nivel productivo en las líneas de menor desempeño.

*f. Sistemas TI*

Nivel 2. La compañía utiliza los siguientes sistemas dentro de sus procesos: MES (*Manufacturing Execution System*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), PDA (*Production Data Acquisition*), MDC (*Machine Data Collection*) y CAD (*Computer Aided Design*). Asimismo, todos estos sistemas cuentan con una interfaz en el sistema líder. Sin embargo, debido a que dichos sistemas se encuentran integrados al sistema líder, pero no están integrados entre ellos, no cuentan con la posibilidad de comunicarse y compartir datos, la empresa se ubica en nivel 2 en esta subdimensión.

**2.2.3. Operaciones Inteligentes**

*a. Sistema integrado de intercambio de información*

Nivel 4. Con respecto a la integración en el intercambio de información, la empresa la ha integrado internamente de manera interdepartamental en las áreas relacionadas a investigación y desarrollo, producción y fabricación, compras, logística, ventas, servicios y TI; únicamente no se encontraría integrada la información correspondiente a contabilidad financiera. En lo que respecta a la integración externa con clientes y/o proveedores, se encuentra integrado en las áreas relacionadas a investigación y desarrollo, compras, logística y ventas; y no se encuentra integrada para las áreas de producción, servicios, TI y contabilidad financiera. Dado que el nivel de integración en el sistema de información es mayoritariamente interno en comparación con los de carácter externo, la empresa se ubica un eslabón previo al nivel óptimo.

*b. Guiado autónomo de piezas de trabajo*

Nivel 4. Según la información declarada, la empresa cuenta con casos en los cuales las piezas de trabajo son capaces de guiarse de manera autónoma a lo largo del proceso productivo; sin embargo, esta situación solo se evidencia en las fases de prueba y piloto. Dado que el guiado autónomo de piezas no se ha implementado aun de manera definitiva en ninguna área, la subdimensión se categoriza con el nivel 4.

*c. Procesos autorreactivos*

Nivel 0. Según la información obtenida de la encuesta, la empresa no cuenta con procesos de producción que respondan de manera autónoma en tiempo real a los cambios que ocurran en las condiciones de producción y modifiquen la configuración de las máquinas ante estos cambios.

*d. Seguridad de TI*

Nivel 4. Dentro de la organización de la empresa, se tiene un departamento central de TI. Asimismo, sus soluciones de seguridad de TI se encuentran con las siguientes soluciones implementadas: seguridad en el almacenamiento interno de datos y seguridad de datos a través de

los servicios en la nube. Sin embargo, la seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos tanto a nivel interno como con socios comerciales se encuentra en progreso; motivo por el cual la compañía se categoriza en el nivel 4.

*e. Uso de la nube*

Nivel 3. Actualmente, la empresa no utiliza servicios en la nube para ninguno de los siguientes aspectos: software basado en la nube, análisis de datos o almacenamiento de datos. Sin embargo, declara que se encuentra planificando la manera de poder utilizar los tres servicios mencionados dentro de su organización. Al no haber implementado ninguna solución inicial, se categoriza a la empresa en este nivel.

**2.2.4. Productos Inteligentes**

*a. Complementos de funcionalidades TIC*

Nivel 0. Los productos desarrollados por la organización no cuentan con ninguna de las siguientes funcionalidades requeridas por la Industria 4.0 como lo son: la memoria del producto, el auto informe, la integración, localización, sistemas de asistencia, supervisión, información del producto e identificación automática. Dado que no se presentan estas facilidades, la compañía se define con el menor nivel posible.

*b. Uso de data*

Nivel 0. Dado que los productos manufacturados y comercializados por la empresa no cuentan con las funcionalidades clave de la Industria 4.0, no existe recopilación de datos por parte de los productos, por lo que tampoco la utilización de estos. En este caso, al igual que en la subdimensión anterior, al no cumplir con los requisitos mínimos se categoriza a la empresa en el nivel 0.

**2.2.5. Servicios basados en datos**

*a. Servicios basados en datos*

Nivel 0. La empresa no ofrece servicios basados en datos con la información recopilada en la fase de uso de los productos; cabe resaltar que, según los resultados del nivel de productos inteligentes, se asume que los datos recopilados en la fase de uso no se recogen de manera automática por los productos, sino que se realizan por otros medios. Esta situación se evidencia al conocer que la compañía brinda prototipos a sus clientes tanto digitales como físicos, los cuales sirven para que la empresa recoja comentarios sobre sus productos y surja la posibilidad de brindar servicios complementarios.

*b. Participación en los ingresos*

Nivel 0. La empresa al no ofrecer servicios basados en datos no existe un porcentaje de participación de estos sobre los ingresos de Textil del Valle. De esta manera, se considera que la organización no está aprovechando la oportunidad de incrementar sus ingresos a través de la venta de productos que formen parte de paquetes híbridos de servicios que combinan los productos con servicios de mayor valor agregado para el cliente.

*c. Nivel de uso de datos*

Nivel 0. La empresa no recolecta datos por medio de sus productos en la fase de uso ya que no cuenta con funcionalidades complementarias de TI. Por este motivo, no existe un uso que pueda darse de estos datos; además, esto ocasiona que no se puedan diseñar nuevos modelos de negocio que les permitan ofrecer mejores beneficios a sus clientes.

### **2.2.6. Empleados**

*a. Habilidades del empleado*

Nivel 3. Debido a las características de su fábrica, sus estrategias diseñadas y las innovaciones en sus operaciones clave, existen algunos empleados que cuentan con determinados niveles de habilidad y conocimientos que cumplen con los requisitos de la Industria 4.0 tales como: tecnología de automatización, análisis de datos, seguridad de datos, desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia, utilización de software de colaboración y habilidades no técnicas como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos. Sin embargo, la empresa declara que estas capacidades son inadecuadas aún; y, únicamente las capacidades de infraestructura de TI se encuentran presente de manera adecuada. Asimismo, los empleados que cuentan con estas habilidades se agrupan en áreas clave como manufactura, operaciones textiles y en la dirección estratégica de la empresa.

## **3. Proyectos de implementación de Industria 4.0**

Para comprender el proceso de implementación de ciertas tecnologías que se encuentran vinculadas a la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones se describirán los proyectos que Textil del Valle ha ejecutado o pilotos que se están desarrollando como se muestra en la figura 34, que responden en cierta medida a los factores clave detallados con los expertos, así como con las dimensiones del modelo utilizado, el cual indica un nivel 2 de preparación para esta empresa. Además, esta sección tiene la intención de guiar y tener una referencia sobre el alcance concreto que Polcyr SRL puede plantearse al identificar cómo la empresa tomada como referente del sector ha decidido llevar a cabo el proceso de implementación de la Industria 4.0. De esta manera, a través de las entrevistas realizadas a los gerentes y/o jefes de las distintas gerencias y jefaturas de Textil del Valle se buscará analizar el proceso de implementación

tomando en cuenta la estrategia seleccionada, la operativa implicada y finalmente el proceso de adaptación de los empleados.

**Figura 34: Proyectos de implementación de Industria 4.0 en Textil del Valle S.A.**



### 3.1. Proyectos implementados en la Gerencia de Operaciones de Manufactura

En la Gerencia de Manufactura se han llevado a cabo dos proyectos vinculados a incrementar la recopilación y uso de la información en tiempo real para identificar aquellos puntos en los cuales se podría optimizar la producción en caso sea necesario. En la Jefatura de Costura, que se caracteriza por ser intensiva en mano de obra y donde la productividad de los maquinistas es clave para cumplir con el cumplimiento del programa, se ha llevado a cabo un proyecto que permitió incrementar en gran medida el nivel de información que pueda obtenerse a través de la digitalización de los procesos. Por otro lado, en la Jefatura de Acabados se implementó un sistema que permita un control más eficiente de los procesos por medio de unos televisores que organizan la información en tiempo real sobre la eficacia de cada módulo de trabajo, los cuales, al igual que en la Jefatura de Costura, pueden utilizar de forma proactiva la información recopilada de cada módulo de trabajo.

Con respecto a la Jefatura de Costura, se adquirieron máquinas de coser de última generación con un sistema ETC que permiten grabar automáticamente la regulación correcta para toda la línea de costura (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020); además, se desarrolló un software *in-house* donde a cada operador de costura (maquinista) se le asignó una tablet para que puedan marcar la producción realizada solo presionando un comando. El proceso se desarrolla de la siguiente manera: el maquinista cose la prenda que le toca o la parte de la

prenda que le toca, luego mediante un comando registra la producción realizada en la Tablet y finalmente, esta le muestra la eficiencia que tuvo en esa operación; es decir, si ese proceso tenía que realizarse en un minuto y el maquinista lo hizo en un minuto, la eficiencia es del 100%, si lo hizo en menos tiempo, el porcentaje es mayor (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

De esta manera, la organización cuenta con información en tiempo real de la eficiencia de las líneas de producción para realizar un balance de líneas; es decir, pueden igualar los tiempos de trabajo de cada maquinista en las líneas de costura. Para poder llevar a cabo esto, primero alquilaron un software externo alrededor de seis meses que les permitió comprender la dinámica y los recursos necesarios para, posteriormente, desarrollar un software in-house propio. El desarrollo de esta iniciativa se vincula principalmente a la necesidad de contar con información que les permita identificar cuál es el cuello de botella dentro de una línea de costura y realizar un balance de líneas en tiempo real; por lo tanto, el área puede mejorar su indicador de productividad de forma más proactiva (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

Se debe recalcar que antes de llevar a cabo la implementación de estos proyectos, la Gerencia tuvo en claro tres aspectos o lineamientos clave para su desarrollo. En primer lugar, las mejoras debían estar enfocadas en aquel proceso que requiere mayor control con el objetivo de optimizar los indicadores de productividad y entrega; por este motivo, la capacidad de obtener más información de cada línea de costura o de cada módulo de acabados les permitiría solucionar aquellas fallas que no permitían ejecutar con mayor eficiencia el proceso. Además, la adquisición de máquinas de costura que cuenten con un sistema que permita regular automáticamente a las demás máquinas facilita y agiliza el arranque del proceso de costura, optimizando tanto los tiempos como el proceso de balance de las líneas de costura.

En segundo lugar, la elección de implementar dicha tecnología primero fue comparada con otras soluciones similares para luego pasar por una prueba piloto en una cantidad específica de líneas de costura e identificar la factibilidad de este sistema y a corregir ciertas fallas técnicas o errores del propio desarrollo. Finalmente, se tomó en cuenta un proceso de cambio que inició desde la gerencia para después motorizarse a por medio de la contratación de jefes (mandos medios) que estuviesen alineados al concepto de innovación y tecnología; además, se buscó comunicar estos cambios a los trabajadores que se encontraban directamente relacionados con el uso de este software de manera tal que pudiesen observar los beneficios reales de esta implementación (M. Chiok, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

### **3.2. Proyectos implementados en la Gerencia de Operaciones Textiles y Desarrollo de Producto**

En la Gerencia de Operaciones Textiles y DDP, específicamente en la Jefatura de Tejeduría, se han llevado a cabo cuatro proyectos relacionados a la obtención de mejoras obtenidas por la automatización de procesos a través de la implementación de tecnología o rediseño de procedimientos para que sean más digitales. En primer lugar, se implementó un sistema automatizado de recepción del hilo del almacén por medio de la conexión entre la información de la orden de trabajo con la propia máquina. En segundo lugar, un software que permite simplificar el registro de calidad de los parámetros de funcionamiento de las máquinas. En tercer lugar, se utiliza un sistema de lectura de códigos de barra que permite configurar las máquinas para que sean capaces de reconocer las especificaciones técnicas de los rollos de tela, seleccionar la máquina que deba utilizarse e indicar al operario encargado el peso actual y el peso pendiente, en caso sea necesario colocar mayor cantidad de hilo a la máquina. Finalmente, se ha desplegado un sistema de control de maquinaria que recopila información en tiempo real sobre el funcionamiento de las máquinas y permite intervenir en caso de alguna parada o para identificar la eficiencia de estas.

Los primeros dos proyectos se vinculan principalmente a optimizar la correcta configuración de las máquinas para que se pueda completar con un mayor nivel de cumplimiento de las órdenes de producción. En primer lugar, gracias a la integración de las órdenes de trabajo con los lotes específicos de hilo que se encuentran en el almacén, la Jefatura de Tejeduría puede asignar con mayor rapidez las máquinas, ya sean circulares o rectilíneas, que deben utilizarse para ejecutar la producción; ya que, el almacén envía la información de la cantidad y los requerimientos del hilado a las máquinas específicas a ser utilizadas de forma automatizada (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020). En segundo lugar, los arranques más rápidos de las tejedoras por medio de la implementación de tablets que permiten automáticamente registrar y validar todos los parámetros para que se inicie la producción rápidamente; de esta manera, se modificó el proceso manual que los supervisores y mecánicos debían realizar al tener que completar los registros de limpieza, de inspección y la lista de verificación (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020).

Por otro lado, el proyecto de implementación del sistema de control en tiempo real requirió colocar un controlador que registra todo el funcionamiento de la máquina, específicamente busca identificar la ocurrencia de paradas a mano, las cuales el mismo operario registra cuando y porque ocurre alguna falla, o aquellas paradas automáticas. Además, por medio de un monitor en medio de la planta se puede visualizar el funcionamiento de todas las máquinas; es decir, brinda la información necesaria para conocer cuántas máquinas están trabajando o

cuántas están detenidas y por qué están detenidas (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020). Este sistema incorpora un proceso de automatización de alertas que envía correos electrónicos a los supervisores cuando la máquina está parada más allá del tiempo establecido; y, como mejora de la última versión del software, se utilizan los *Smart Bands* que se pueden configurar para que ciertas máquinas asignadas solo envíen las alertas al operario responsable de la máquina y pueda actuar en caso sea necesario (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020). Finalmente, a este proyecto se incluyó una instalación de cámaras que aseguran la calidad del proceso, revisando que los operarios cumplan con las inspecciones de limpieza y ajuste a las máquinas.

En estos casos, los proyectos permiten reflejar el avance que ha tenido la Jefatura de Tejeduría de Textil del Valle con respecto a su nivel de digitalización permitiendo que la información pueda ser utilizada por los sistemas de producción automáticamente y se pueda llevar a cabo un control que otorga la capacidad de actuar en tiempo real ante alguna alerta en el proceso. Además, esta área tenía en claro que la optimización de estos elementos dentro del proceso de producción agiliza la identificación de cuáles son los motivos de las fallas en la maquinaria, ya sea del lado del insumo (hilo) o del operario. De esta manera, la empresa está logrando crear un modelo digital de la fábrica que recopila la información clave de manera automática, tanto de las máquinas como de los procesos, para la mejora de tiempos logísticos, controlar automáticamente la producción, optimizar los recursos utilizados; e, ir incrementando la transparencia de la información de la organización.

Con respecto a la Jefatura de Desarrollo de Prenda se está llevando a cabo la implementación de un software de fitting virtual con el proveedor Browzwear 3D, el cual permite digitalizar todo el proceso de diseño y desarrollo de los moldes para cada una de las partes de las prendas (delantero, mangas, cuellos) a ser confeccionadas (J. Rojas, comunicación personal, 27 de mayo, 2020). De esta manera, se pueden evaluar y aprobar las especificaciones técnicas de la prenda, reduciendo iteraciones en el molde; y, optimizando paralelamente el indicador de aciertos. Además, se ha llevado a cabo un proceso continuo de incremento del uso de herramientas digitales para poder compartir la información sobre los requerimientos del área comercial (por parte del cliente) con las áreas encargadas de la producción de forma más directa e interconectada; por ejemplo, las fichas técnicas enviadas por el cliente que contienen las especificaciones de la prenda ahora son vinculadas con el sistema de producción en la planta, quienes pueden tomar la información de forma automática y proceder con la ejecución o modificar de forma inmediata la producción en caso se realice algún cambio (J. Rojas, comunicación personal, 27 de mayo, 2020).

Con respecto a la Jefatura de Estampado, en el año 2019 se ha incrementado la inversión necesaria para implementar los tipos de estampados digitales más reconocidos a nivel mundial, los cuáles incrementan el nivel de flexibilidad en la fase de pre-estampado (reduciéndolo a casi 10 minutos) y eliminan procesos como el desarrollo de cuadros, la preparación de los pigmentos, entre otros (A. Echeandía, comunicación personal, 18 de junio, 2020). Además, se está invirtiendo en maquinaria de alta producción que posee una productividad seis veces mayor que las máquinas compradas inicialmente; y, paralelamente, se está desarrollando un software que permite generar un reporte general en tiempo real sobre la producción de cada una de las máquinas (producción semanal, consumo de tinta, entre otros), proceso que se realizaba manualmente (E. Mendoza, comunicación personal, 28 de mayo, 2020).

En conclusión, se debe señalar que los proyectos de la Jefatura de Tejeduría fueron llevados a cabo principalmente porque los líderes querían medir y mejorar el indicador de eficiencia; por lo que, tenían conocimiento de la existencia de esta tecnología que permitiría lograr este objetivo al implementarla. A partir de ello, resultó clave partir del diseño de prototipos que permitan, a los supervisores y operarios que participan del proceso, evaluar cómo se utilizará el sistema y el valor que se obtendría al implementarse; además, en el proyecto del sistema de control en tiempo real, primero se realizó un piloto con 18 máquinas tejedoras para luego iniciar con el despliegue del sistema en las máquinas restantes (L. Moreno, comunicación personal, 20 de mayo, 2020). Esto permitió modificar paralelamente la forma de trabajo de los operarios e incluso conllevó a que se deban desarrollar sus capacidades vinculadas a la tecnología de automatización y análisis de datos, lo que también resultó en la contratación de un analista para monitorear directamente la información recopilada en la implementación.

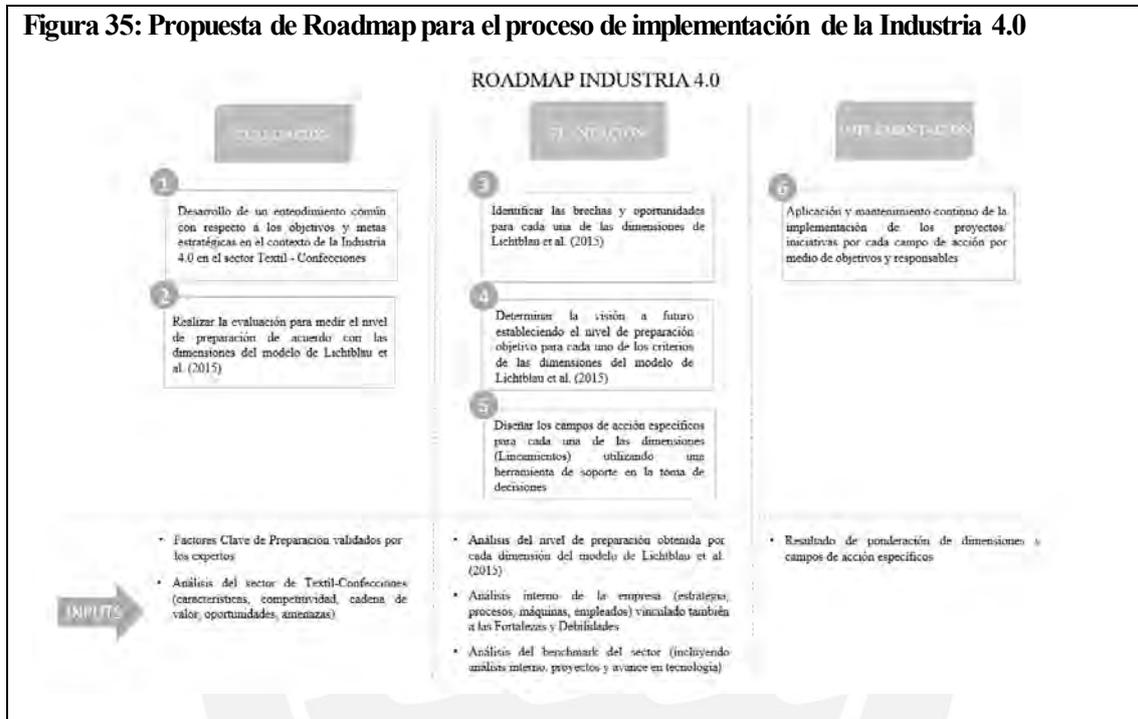
Por otro lado, los proyectos llevados a cabo dentro de la Jefatura de Desarrollo de Prenda tienen un enfoque centrado en digitalizar los procesos de diseño de moldes para que se pueda evaluar la factibilidad de producirlos y ajustar el fitting correcto de forma ágil y en tiempo real; además, les permite registrar, modificar o re-utilizar los moldes para próximos requerimientos, lo que impacta en los indicadores de eficiencia y rentabilidad al poder realizar la evaluación por parte del cliente digitalmente (J. Rojas, comunicación personal, 27 de mayo, 2020). Por el lado de la Jefatura de Estampados, los proyectos implementados han buscado incrementar el nivel de digitalización de la empresa al permitir, a través del software integrado a las máquinas de estampado digital, obtener la información en tiempo real del análisis de su funcionamiento o producción. Además, al implementar el estampado digital, no solo amplían su capacidad de producción y cartera de productos que pueden ofrecer al mercado, sino que facilitan una mejor conectividad entre la máquina, los dispositivos y los sistemas de gestión de recursos o manufactura.

#### 4. Ruta, lineamientos estratégicos y panel de control para el proceso de implementación de la Industria 4.0

##### 4.1. Propuesta de roadmap para la implementación de la Industria 4.0

El roadmap propuesto en la presente investigación se conforma por tres fases secuenciales como se muestra en la figura 35: evaluación, planeación e implementación.

**Figura 35: Propuesta de Roadmap para el proceso de implementación de la Industria 4.0**



(1) Evaluación. Esta fase se conforma de dos etapas, la primera de ellas tiene como objetivo desarrollar un entendimiento común con respecto a los objetivos estratégicos en el entorno de la Industria 4.0. Para ello, previamente se realiza una validación de los factores clave de preparación, para identificar cuáles son los más relevantes para la industria en la cual se desarrolla la organización. Asimismo, se realiza un análisis del sector con el fin de definir sus características e identificar oportunidades y amenazas. A partir de ambos análisis, es posible relacionar el contexto del sector con las metas de la Industria 4.0. La segunda etapa es medir el nivel de preparación de la organización tomando en cuenta las dimensiones y criterios del modelo desarrollado por Lichtblau et al. (2015). Para ello, se aplica la encuesta online de preparación a los líderes de la organización y los más conocedores en temas de operaciones, tecnología e innovación.

(2) Planeación. La segunda fase cuenta de tres etapas, la primera de ellas es la identificación de brechas y oportunidades para cada dimensión del modelo aplicado. Para ello, se toma como insumo el análisis del nivel de preparación obtenido en la fase previa para establecer el punto de partida. Asimismo, se realiza un análisis interno de la organización que tome en cuenta

las fortalezas y debilidades de la misma con el fin de identificar sus limitaciones o potencialidades en su proceso hacia la Industria 4.0. La segunda etapa es determinar la visión a futuro de la organización; para ello, se establece el nivel de preparación objetivo al que se quiere llegar. Para esta definición, además de tomar como referencia los análisis previos mencionados, se realiza un análisis de un benchmark del sector, el cual implica una evaluación interna de la empresa y una identificación de sus principales proyectos de innovación y cambio tecnológico en su proceso de transformación. En la tercera etapa se diseñan los campos de acción específicos para cada una de las dimensiones del modelo partiendo de los niveles objetivo definidos en la etapa previa. Se realizan lineamientos para cada criterio y para ello se utiliza una herramienta de soporte para la toma de decisiones. A partir de los lineamientos se plantean objetivos, iniciativas, indicadores y metas para aterrizar los campos de acción en propuestas concretas.

(3) Implementación. Finalmente, la tercera fase implica la implementación y aplicación de las iniciativas planteadas en la fase previa. A cada una de las acciones definidas por cada lineamiento establecido se le atribuyen responsables y objetivos partiendo de los resultados de la ponderación de las dimensiones a través de la herramienta mencionada. El resultado de esta ponderación no solo es útil ya que ayuda a jerarquizar las iniciativas, sino también porque apoya al monitoreo al evidenciar el aporte de cada criterio dentro de la dimensión del modelo de preparación aplicado. Asimismo, esta fase no solo implica la aplicación de las iniciativas sino también un continuo mantenimiento y monitoreo de las mismas.

#### **4.2. Propuesta de lineamientos estratégicos para el proceso de implementación de la Industria 4.0 en Polcyr S.R.L.**

Como parte de la fase de planeación del roadmap propuesto, a partir del análisis de las brechas y oportunidades que la empresa tiene con respecto al nivel de preparación en cada dimensión del modelo de Lichtblau et al. (2015), se debe plantear la visión a futuro de los niveles de preparación que se quieran alcanzar por medio de la ejecución de la estrategia como se observa en la tabla 26. Para ello, se realizó una evaluación desde dos perspectivas: por un lado, se desarrolló una evaluación por parte del gerente general de Polcyr sobre cuáles deberían ser los objetivos que se desean obtener para cada una de las subdimensiones tomando en cuenta el análisis interno desarrollado; y, en segundo lugar, también se tomó en consideración el nivel de preparación de Textil del Valle, referente del sector, para determinar un nivel objetivo esperado más aterrizado a las características del sector Textil - Confecciones.

**Tabla 26: Nivel de preparación objetivo por Dimensión y Subdimensión**

Dimensión	Nivel actual	Nivel objetivo	Subdimensión	Nivel actual	Nivel objetivo
Estrategia y Organización	Nivel 0	Nivel 1	Estrategia	Nivel 0	Nivel 2
			Inversiones	Nivel 1	Nivel 2
			Indicadores	Nivel 0	Nivel 2
			Gestión de la Innovación	Nivel 0	Nivel 0
Fábrica Inteligente	Nivel 0	Nivel 1	Modelado Digital	Nivel 0	Nivel 1
			Infraestructura de Equipos (actual)	Nivel 0	Nivel 1
			Infraestructura de Equipos (objetivo)	Nivel 1	Nivel 2
			Recolección de Data	Nivel 1	Nivel 2
			Utilización de Data	Nivel 1	Nivel 3
Operaciones Inteligentes	Nivel 0	Nivel 1	Sistemas de TI	Nivel 0	Nivel 2
			Uso de la Nube	Nivel 0	Nivel 3
			Seguridad de TI	Nivel 0	Nivel 2
			Procesos Autorreactivos	Nivel 0	Nivel 0
			Guiado Autónomo de Piezas	Nivel 0	Nivel 0
Productos Inteligentes	Nivel 0	Nivel 0	Intercambio de Información	Nivel 0	Nivel 3
			Uso de Data	Nivel 0	Nivel 0
Servicios Basados en Datos	Nivel 0	Nivel 0	Funciones Complementarias de TI	Nivel 0	Nivel 0
			Servicios Basados en Datos	Nivel 0	Nivel 0
			Participación de Ingresos	Nivel 0	Nivel 0
Empleados	Nivel 0	Nivel 1	Nivel de Uso de Datos	Nivel 0	Nivel 0
			Habilidades del Empleado	Nivel 0	Nivel 1

Posteriormente, la fase dos implica el establecimiento de campos de acción específicos para cada una de las dimensiones del modelo de Litchtblau et al. (2015). Además, para seleccionar correctamente cuáles dimensiones deben priorizarse como parte de los campos de acción se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico como se detalló en las secciones anteriores y se obtuvieron las ponderaciones respectivas como se muestra en la tabla 27. En primer lugar, se tomó como objetivo el establecimiento de los campos de acción específicos para la ruta estratégica de Polcyr; además, se detallaron cada una de las dimensiones que formaron parte de la medición del nivel de preparación y sus respectivas subdimensiones. Luego, se llevaron a cabo las matrices de comparación tomando en cuenta aquellas que tienen mayor influencia a nivel de costo-beneficio para Polcyr y se calculó el ratio de consistencia para validar las ponderaciones obtenidas (ver Anexos U, V, W, X, Y, Z). Se debe mencionar que, en el caso de la Dimensión Empleados, al contar solo con una subdimensión, no fue necesario diseñar y ejecutar la evaluación de las matrices de comparación.

**Tabla 27: Ponderaciones de Dimensiones y Subdimensiones**

Dimensiones	Ponderación	Subdimensiones	Ponderación
Estrategia y Organización	0.372	Estrategia	0.263
		Inversiones	0.558
		Indicadores	0.122
		Gestión de la Innovación	0.057
Fábrica Inteligente	0.179	Modelado Digital	0.075
		Infraestructura de Equipos (actual)	0.133
		Infraestructura de Equipos (objetivo)	0.117
		Recolección de Data	0.290
		Utilización de Data	0.075
		Sistemas de TI	0.311
Operaciones Inteligentes	0.118	Uso de la Nube	0.522
		Seguridad de TI	0.294
		Procesos Autorreactivos	0.049
		Guiado Autónomo de Piezas	0.049
		Intercambio de Información	0.086
Productos Inteligentes	0.030	Uso de Data	0.750
		Funciones Complementarias de TI	0.250
Servicios Basados en Datos	0.044	Servicios Basados en Datos	0.633
		Participación de Ingresos	0.106
		Nivel de Uso de Datos	0.260
Empleados	0.258	Habilidades del Empleado	1.000

Ahora bien, como se mencionó anteriormente, para cada dimensión se plantea un lineamiento que guía los objetivos a cumplirse. Dentro de cada lineamiento se incluyen objetivos e iniciativas que cuentan con metas, indicadores de monitoreo y plazos específicos para su consecución. Cabe mencionar que las iniciativas siguen un orden lógico y es necesaria la realización de las primeras para seguir con las posteriores. Además, se tomó en consideración no incluir campos específicos para las Dimensiones de Productos Inteligentes y Servicios Basados en Datos principalmente por los hallazgos encontrados en el análisis del sector, de los factores clave de preparación y por el nivel de influencia que tienen en los resultados de la empresa. Es importante señalar que las ponderaciones obtenidas a través del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) permiten a la empresa reconocer cuáles objetivos e iniciativas deberían ser implementadas inicialmente; ya que, estos han sido diseñados tomando en cuenta el nivel de influencia en la empresa.

#### **4.2.1. Estrategia y Organización**

##### *a. Lineamiento estratégico 1*

Integrar una visión personalizada de la Industria 4.0 a la estrategia orgánica de la empresa hacia el cierre del año 2021.

**Tabla 28: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión Estrategia y Organización**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Asignar un 30% del presupuesto anual a la inversión para la implementación de proyectos de Industria 4.0 en las áreas de Producción/Fabricación, Logística y Ventas.	Diseñar un protocolo de análisis costo-beneficio para seleccionar las diferentes opciones de tecnología disponibles para los procesos y/o maquinaria del sector Textil-Confecciones	Número de evaluaciones costo-beneficio ejecutadas bajo el protocolo.	Evaluar mínimo tres opciones de tecnología bajo el protocolo.
	Diseñar una ficha de control del nivel de inversión asignado para cada implementación de los proyectos y/o tecnología	Número de proyectos que cuentan con una ficha de control	100% proyectos cuentan con una ficha de control de inversión
	Definir el medio de financiamiento más adecuado para cada proyecto de implementación	Número de proyectos asignados con un medio de financiamiento	100% de proyectos de implementación tienen asignado un medio de financiamiento
Consolidar una alianza estratégica con una organización externa enfocada en la innovación o tecnología en el sector Textil-Confecciones hacia fines del año 2021	Asistir a los programas de asesoría/consultoría de centros académicos de innovación textil	Número de asistencias a programas de asesoría/consultoría de centros académicos de innovación textil	Asistir a por lo menos 1 asesoría/consultoría por trimestre del año 2021
	Formar parte de asociaciones que promuevan el conocimiento técnico derivado de la industria textil	Número de suscripciones a asociaciones enfocadas en conocimiento técnico de la industria textil	Estar suscrito al menos a una asociación enfocada en conocimiento técnico de la industria textil para el año 2021
	Asistir a ferias locales e internacionales sobre innovación en maquinaria textil e iniciativas del sector	Número de asistencias a ferias locales e internacionales sobre innovación en maquinaria textil e iniciativas del sector	Asistir al menos a una feria local o internacional sobre innovación en maquinaria textil e iniciativas del sector en el año 2021
Lograr que el 100% del personal de gerencia conozca el concepto de Industria 4.0 hacia fines del año 2021	Desarrollar talleres con los encargados del diseño del proceso estratégico para la presentación de los beneficios de la Industria 4.0	Nivel de entendimiento de los beneficios de la industria 4.0 por parte de los empleados	Lograr que los beneficios de la Industria 4.0 sean entendidos por el 80% del personal de gerencia para el año 2021
	Realizar visitas a empresas referentes del sector Textil-Confecciones para observar aplicaciones prácticas de la Industria 4.0	Número de visitas a empresas referentes del sector Textil-Confecciones	Visitar una empresa referente del sector Textil-Confecciones por lo menos una vez al año

**Tabla 28: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión Estrategia y Organización (continuación)**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
	Participar de manera anual en eventos organizados por las universidades/academia vinculados a la explicación e implementación de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones	Número de asistencias a eventos organizados por las universidades/academia vinculados a la explicación e implementación de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones	Asistir al menos una vez por trimestre a eventos organizados por las universidades/academia vinculados a la explicación e implementación de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones
	Realizar evaluaciones anuales en donde se mida el conocimiento de los gerentes con respecto a iniciativas tecnológicas en el sector textil	Número de iniciativas tecnológicas del sector Textil-Confecciones conocidas por los gerentes	Conocer por lo menos una iniciativa tecnológica del sector Textil-Confecciones por área core de la empresa

#### 4.2.2. Fábrica Inteligente

##### a. Lineamiento estratégico 2

Mejorar la infraestructura actual de la compañía, tanto de sistemas como de maquinaria, con el fin de que la información y los recursos se utilicen de manera más eficiente.

**Tabla 29: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión Fábrica Inteligente**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Digitalizar el 50% de la información generada por la organización que pueda ser digitalizada para el cierre del año 2021	Realizar un diagnóstico de la información generada por la empresa para determinar cuál puede ser digitalizada para el primer trimestre del año 2021	Porcentaje de información generada por la empresa analizada para ser digitalizada	Analizar el 100% de la información generada por la empresa
	Determinar el nivel de importancia de la información generada para establecer qué información debe ser digitalizada con prioridad para el segundo trimestre del año 2021	Porcentaje de información analizada para ser priorizada	Lograr que el 100% de la información generada por la empresa cuente con un nivel de prioridad a ser digitalizada
	Participar y recibir capacitaciones por los proveedores (ERP y Sistema Basado en Nube) para aprender cómo digitalizar la información en el sistema para el tercer trimestre del año 2021	Porcentaje de empleados con conocimientos para digitalizar en los sistemas la información generada por la empresa	Lograr que el 100% de los empleados involucrados en el proceso sepan cómo digitalizar en el sistema la información generada

**Tabla 29: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Fábrica Inteligente (continuación)**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Implementar un sistema de gestión de recursos (ERP, en sus siglas en inglés) que pueda ser posteriormente integrable a la maquinaria de producción para cierre del primer semestre del 2021	Diseñar un protocolo de análisis con criterios para determinar la selección del sistema ERP a ser implementado para finales del año 2020	Número de evaluaciones de sistemas ERP ejecutadas bajo el protocolo	Evaluar mínimo tres opciones de sistema ERP bajo el protocolo
	Realizar un <i>benchmark</i> con las empresas del sector Textil-Confecciones y evaluar entre los sistemas ERP más utilizados el más adecuado para la organización para finales del año 2020	Número de revisiones de sistemas ERP utilizados por empresas referentes del sector Textil-Confecciones	Revisar como mínimo tres sistemas ERP utilizados por empresas referentes del sector Textil-Confecciones
	Recibir asesoría por parte del proveedor elegido para capacitar a los empleados que utilizarán el sistema ERP al cierre del primer semestre del 2021	Cumplimiento de asesoría por parte del proveedor elegido para capacitar a los empleados que utilizarán el sistema ERP	Asesorar al 100% de los empleados que utilizarán el sistema ERP
Incrementar el nivel de inversión en potenciamiento de maquinaria actual o compra de maquinaria nueva para contar con al menos 50% de maquinaria capaz de captar información y digitalizar sus procesos productivos al final del 2023	Realizar un diagnóstico actual de la maquinaria de la empresa para determinar aquella capaz de captar información y digitalizar sus procesos productivos, así como aquella que deberá reemplazarse para finales del año 2021	Número de maquinarias diagnosticadas con respecto a la capacidad de captar información y digitalizar los procesos productivos	80% de la maquinaria actual de la empresa es diagnosticada
	Realizar visitas o recoger información sobre las maquinarias con mayor grado de tecnología utilizadas por empresas referentes para definir el tipo de maquinaria a ser elegida hacia el año 2021	Número de revisiones de maquinaria utilizada por empresas referentes del sector Textil-Confecciones	Revisar como mínimo la maquinaria de tres empresas referentes del sector Textil-Confecciones
	Diseñar un protocolo de evaluación con criterios de proveedores disponibles en el mercado para seleccionar el tipo de maquinaria nueva a ser implementada hacia el año 2021	Número de evaluaciones de proveedores ejecutadas bajo el protocolo	Evaluar mínimo tres proveedores de maquinaria bajo el protocolo

**Tabla 29: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Fábrica Inteligente (continuación)**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Utilizar al menos un 50% de la data recolectada por las maquinarias capaces de recolectar datos en el proceso productivo para el año 2025	Recopilar la data generada por la maquinaria nueva y la maquinaria actualizada en su proceso productivo y almacenarla de manera digital para el año 2025	Porcentaje de data recopilada y almacenada de manera digital	Recopilar como mínimo el 50% de la data generada por la maquinaria
	Diseñar protocolos para el uso de la información recolectada por las maquinarias para el año 2025	Porcentaje de información utilizada a través del protocolo	El 100% de la información recolectada por las máquinas es utilizada a través del protocolo diseñado
	Analizar la data recolectada y determinar qué medidas de acción pueden tomarse para optimizar el proceso para el año 2025	Cumplimiento del análisis de la data recolectada y la elección de medidas de acción que pueden tomarse para optimizar el proceso	Analizar el 100% de la data recolectada y con las medidas de acción para optimizar el proceso

#### 4.2.3. Operaciones Inteligentes

##### a. Lineamiento estratégico 3

Optimizar la eficiencia y control de las operaciones por medio del intercambio de la información entre las áreas internas y los actores clave de la cadena de suministros de la empresa para el año 2022.

**Tabla 30: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Operaciones Inteligentes**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Alcanzar un 100% de almacenamiento en la nube de la información digitalizada para el año 2022	Diseñar criterios de priorización de la información digital y determinar la estructura de almacenamiento en nube para el primer trimestre del año 2021	Cumplimiento de los criterios de priorización de la información digital y la definición de la estructura de almacenamiento en nube	El 100% de la información digital es priorizada en una estructura de almacenamiento en nube bajo los criterios seleccionados
	Implementar un servicio basado en la nube para el almacenamiento de la información hacia finales del primer semestre del año 2021	Porcentaje de implementación del servicio basado en la nube	Alcanzar el 100% de proceso de implementación del servicio basado en la nube
	Recibir capacitación por parte del proveedor sobre el uso de las herramientas que ofrece el software hacia finales del primer semestre del 2021	Cumplimiento de capacitación por parte del proveedor sobre el uso de las herramientas que ofrece el software basado en la nube	Capacitar el 100% de empleados que tienen acceso al software de servicio basado en la nube

**Tabla 30: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Operaciones Inteligentes (continuación)**

Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
	Diseñar protocolos de uso, almacenamiento y seguridad de la información en la nube hacia finales del primer semestre del año 2021	Nivel de entendimiento de los trabajadores sobre el uso, almacenamiento y seguridad de la información en la nube	Lograr que el 100% de empleados involucrados en la utilización de información en la nube tengan conocimiento sobre el uso, almacenamiento y seguridad en la nube
Articular el intercambio de información en 3 áreas dentro de la empresa como manufactura, logística y ventas para el primer trimestre del año 2022	Entregar los manuales de uso del ERP para cada una de las áreas de manufactura, logística y ventas para el final del semestre del año 2021	Porcentaje de cumplimiento de los manuales de uso del ERP para cada una de las áreas de manufactura, logística y ventas	Lograr que el 100% de empleados cumplan con los manuales de uso del ERP
	Promover el intercambio de información entre áreas a través de charlas y capacitaciones para el uso del sistema ERP a lo largo del año 2021	Horas de asistencia a capacitaciones para el uso del sistema ERP	Asistir como mínimo a 30 horas de capacitación al mes
	Realizar testeos anuales con los responsables de las áreas involucradas en la integración de información a lo largo del 2021	Porcentaje de ejecución de los testeos por parte de los responsables de las áreas	Lograr con éxito el testeo del 100% de los responsables de las áreas involucradas en la integración de información
Incrementar el intercambio de información con el 70% de los satélites con las áreas internas de costura de la empresa para finales del año 2021	Definir protocolos de uso y envío de información por parte de los responsables de los satélites y las áreas internas de costura a finales del tercer trimestre del año 2021	Nivel de cumplimiento de los protocolos de uso y envío de información por parte de los responsables de los satélites y el área interna de costura de la organización	Lograr como mínimo 80% de cumplimiento de los protocolos por parte de los satélites involucrados y el área interna de costura
	Realizar pilotos con los satélites para poner a prueba el intercambio de información para finales del tercer trimestre del año 2021	Número de pruebas piloto de intercambio de información a través del punto de contacto digital realizadas con los satélites	Realizar dos pruebas piloto del sistema de intercambio de información con los satélites

#### 4.2.4. Empleados

##### a. Lineamiento estratégico 4

Desarrollar habilidades básicas en los empleados dentro de la empresa en temas de infraestructura de TI, tecnología de automatización y análisis de datos que permita ejecutar el proceso de implementación de la Industria 4.0 para finales del año 2022; asimismo, alinear la

mentalidad de innovación y tecnología en todos los niveles de la organización para el cierre del año 2025.

**Tabla 31: Objetivos, iniciativas, indicadores y metas de la dimensión de Empleados**

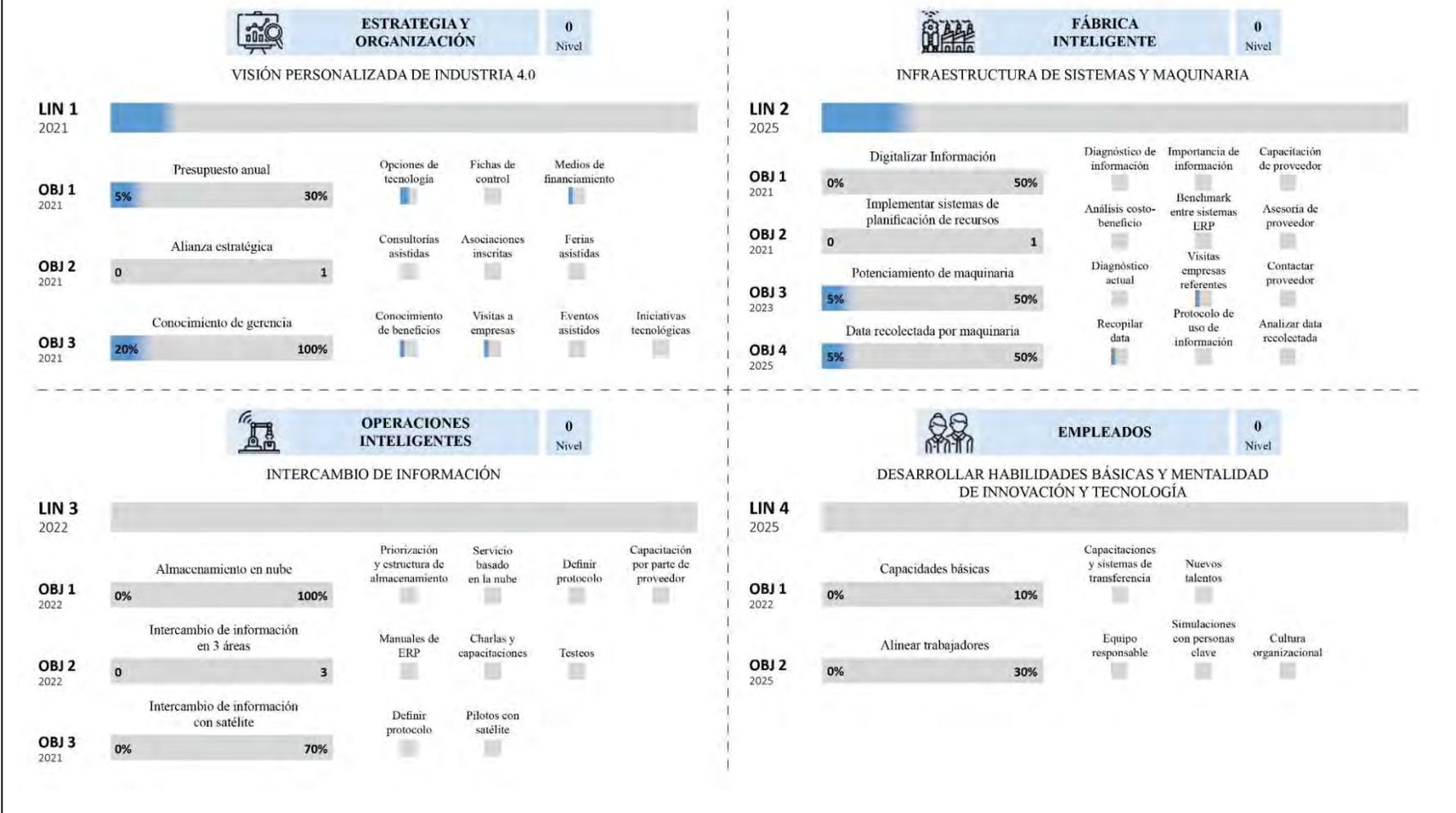
Objetivo	Iniciativa	Indicador	Meta
Lograr que el 10% de los empleados cuente con capacidades básicas relacionadas al uso de TI, procesamiento y análisis de datos, tecnología de automatización y comprensión de interfaces para finales del año 2022	Invertir en capacitaciones y sistemas de transferencia de conocimiento de las competencias y habilidades relacionadas a la implementación de la Industria 4.0 para finales del año 2021	Número de capacitaciones y sistemas de transferencia de conocimiento sobre la Industria 4.0 realizadas	Realizar al menos dos capacitaciones o implementaciones de sistemas de transferencia de conocimiento sobre la Industria 4.0
	Contratar nuevo talento con conocimiento de herramientas de Lean Management y uso de tecnologías en el sector Textil - Confecciones para finales del 2021	Número de nuevos empleados con conocimiento de herramientas de Lean Management y uso de tecnologías del sector	Contratar como mínimo un empleado con conocimientos de herramientas de Lean Management y uso de tecnologías
Lograr que el 30% de los trabajadores se encuentren alineados a temas de innovación y tecnología para cierre del año 2025	Incorporar el tema de innovación y tecnología como parte de la cultura organizacional de la empresa para el cierre del 2025	Nivel de importancia asignada por los trabajadores a los temas de innovación y tecnología	Lograr que el 80% de los trabajadores reconozca la importancia de la innovación y la tecnología en la cultura organizacional de la empresa
	Delegar un equipo responsable de la gestión del cambio que tenga comunicación constante con los trabajadores, informando sobre los cambios realizados en la organización para inicios del año 2022	Porcentaje de empleados informados sobre los cambios realizados en la empresa	Lograr que el 60% de empleados se encuentren informados sobre los cambios e iniciativas implementadas en la organización
	Realizar simulaciones con las personas clave involucradas en los procesos relacionados a la implementación de la Industria 4.0 para incorporar el feedback recibido por parte de los trabajadores	Número de simulaciones de los procesos para la implementación de Industria 4.0 realizadas	Ejecutar como mínimo una simulación previa a la implementación de los proyectos de Industria 4.0 con los empleados clave

### **4.3. Propuesta de panel de control para el monitoreo del proceso de implementación de la Industria 4.0**

Como parte de la ruta estratégica propuesta para que Polcyr pueda implementar correctamente cada uno de los lineamientos, objetivos e iniciativas estratégicas que le permitan iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0, se propone un panel de control que permita visualizar y monitorear gráficamente el avance que se está teniendo a lo largo de la implementación como se muestra en la figura 36. El panel se compone de los siguientes elementos: (1) se encuentra subdividido en cuatro secciones que permiten identificar el avance del nivel de preparación con respecto a cada dimensión dentro de la ruta estratégica establecida; (2) cada objetivo por lineamiento tiene una barra que se va completando a medida que se vayan ejecutando y cumpliendo cada una de las iniciativas planteadas; y, (3) cada iniciativa se encuentra al lado de la barra de cumplimiento del objetivo y, una vez que se implementen las iniciativas, el recuadro se va completando.



**Figura 36: Propuesta de panel de control para el monitoreo del proceso de implementación de la Industria 4.0**



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1. Conclusiones

*Objetivo General: Identificar la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones, para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0.*

La ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L. para iniciar su proceso de implementación de Industria 4.0 comprende: en primer lugar, una evaluación de su nivel actual de preparación según el modelo de preparación de Lichtblau et al. (2015); en segundo lugar, el establecimiento de los niveles objetivo a alcanzar con respecto a cada subdimensión del modelo, según el análisis del referente del sector Textil del Valle S.A.; en tercer lugar, desarrollar un proceso de priorización de las dimensiones y subdimensiones del modelo utilizando el Proceso Analítico Jerárquico de Saaty (1980); y, finalmente, el diseño de lineamientos estratégicos por cada dimensión priorizada y el establecimiento de un conjunto de objetivos, iniciativas e indicadores monitoreados por medio de un panel de control.

*OE 1: Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.*

Se puede concluir que, según la revisión de la literatura y las entrevistas realizadas a expertos de la Industria 4.0, se validan los siguientes factores clave que influyen en el proceso de implementación del nuevo paradigma industrial en las empresas del sector Textil-Confecciones. En primer lugar, la estrategia organizacional, entendida como el elemento que guía el proceso de implementación de la Industria 4.0, la cual debe conllevar un diagnóstico inicial, alinearse a una visión personalizada de la propia organización y apalancarse mediante alianzas estratégicas; además, se deben desarrollar proyectos específicos que puedan ser materializados en planes de acción e incluir un presupuesto determinado para ejecutarlos. En segundo lugar, el nivel de digitalización de la organización, vinculado a transformar en un formato digital la información recopilada a través de los activos, máquinas, sistemas y procesos; los cuales, deben conectarse mediante dispositivos y sistemas de información capaces de coordinar, controlar y monitorear las operaciones en tiempo real.

En tercer lugar, el grado de digitalización de la cadena de suministros, donde los actores deben integrarse para compartir información en tiempo real lo que permite incrementar los niveles de transparencia, eficiencia y efectividad; asimismo, se debe contar con proveedores que permitan integrar la tecnología para digitalizar la cadena. En cuarto lugar, la adaptabilidad de los empleados, ya que se generan cambios en la estructura de trabajo, lo que implica reasignar puestos, y desarrollar nuevas habilidades y competencias. Finalmente, los productos, servicios y

fábrica inteligente, compuestos por la capacidad de “inteligencia” que se adquiere para otorgar mayor personalización a todo el sistema de producción y posibilitan nuevas oportunidades de mercado, además de conllevar un conjunto de beneficios para la propia organización.

No obstante, es importante considerar que las características actuales del sector Textil - Confecciones peruano determinan una menor influencia del factor productos inteligentes, debido a que la fabricación de textiles y prendas en el país presentan un escaso nivel de desarrollo en dicho aspecto. Por otro lado, cabe resaltar que, a partir de las entrevistas realizadas tanto a expertos de la Industria 4.0 como a los jefes y gerentes de la empresa referente del sector Textil del Valle S.A, se reconoce la importancia del factor liderazgo y compromiso de la gerencia como un elemento fundamental para el acompañamiento de la implementación de la Industria 4.0 en las empresas de este sector; ya que, se requiere articular una estrategia en toda la empresa que permita desplegar el proceso de transformación y asignar recursos tanto humanos como de capital.

*OE 2: Exponer los modelos de preparación y madurez de empresas para la Industria 4.0 y su relación con los requerimientos de las PyMES.*

En segundo lugar, como parte de los elementos fundamentales de una estrategia de Industria 4.0, se encuentran los modelos de preparación y madurez; los cuales se componen de dimensiones, niveles, criterios de cumplimiento y resultados para estructurar acciones para el proceso de cambio. En general, estos modelos son útiles dado que evalúan el estado actual de desarrollo o preparación de las organizaciones de una forma estructurada; además, a través de diversos criterios, permiten articular la estrategia de implementación de la Industria 4.0 con los objetivos del negocio. Sin embargo, la mayoría de estos modelos no cumplen con los requerimientos de las PyMES por los siguientes motivos: (1) no todos consideran un nivel inicial “0” que represente el limitado avance de las PyMES; (2) no reconocen completamente como llevar a cabo el proceso de transición entre niveles; (3) no integran una herramienta de autoevaluación, y si la presentan, es difícil realizarla sin apoyo de consultores o expertos debido a que las PyMES no tienen conocimiento sobre los conceptos de Industria 4.0 para realizarlos por sí mismos; y, (4) presentan dimensiones vinculadas a tecnología muy avanzada no presente en las PyMES.

Con respecto a lo mencionado, el modelo de Lichtblau et. al (2015) resultó ser el más adecuado para la presente investigación por los siguientes motivos: (1) posee una relación directa con los factores clave de preparación validados en los hallazgos; (2) es un referente utilizado, analizado y validado por diversos autores en la literatura; (3) realiza un análisis holístico por medio de dimensiones que abarcan diversas áreas; (4) incluye un instrumento de medición de fácil aplicabilidad y medición; (5) reconoce la necesidad de incluir un nivel 0 con el fin de ampliar

su granularidad y permitir la evaluación de empresas que aún no inician el proceso de implementación de la Industria 4.0; y, (6) presenta el detalle de los criterios a cumplir para alcanzar un nivel superior de preparación, lo que posibilita la construcción de campos de acción específicos a ser incluidos como parte de una estrategia.

*OE 3: Determinar y explicar el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0.*

Después de la aplicación guiada de la encuesta de preparación desarrollada en el modelo de Lichtblau et. al (2015), se pudo determinar el nivel de preparación para la Industria 4.0 de ambos sujetos de estudio. Para el caso de Confecciones Polcyr S.R.L., esta empresa presenta nivel 0 en todas las dimensiones analizadas perteneciendo al grupo de “Recién Llegadas” siendo caracterizada como “Forastero”; sin embargo, presenta cierto nivel de avance en algunas de las subdimensiones que las componen. Con respecto a la dimensión de Estrategia y Organización, se evidencia cierto nivel de inversión para la adquisición de maquinaria del área de producción (estampados y tejido), motivo por el cual esta subdimensión se encuentra en nivel 1; no obstante, aún dicha inversión no se encuentra articulada a una estrategia de implementación de la Industria 4.0. Por otro lado, en la dimensión de Fábrica Inteligente la empresa se sitúa en nivel 0, pero para los criterios de Infraestructura de Equipos (objetivo), Recolección de Data y Utilización de Data logra alcanzar un nivel 1 al contar con maquinaria capaz de: (1) adaptarse a las funcionalidades iniciales de la Industria 4.0, (2) recolectar la información en su proceso productivo, y (3) utilizar la data recolectada para tomar decisiones en cuanto al mantenimiento de maquinaria o mejorar tiempos logísticos.

Ahora bien, en las dimensiones de Operaciones Inteligentes y Empleados también se sitúa en nivel 0, la primera principalmente porque no cuenta con los sistemas y soluciones basadas en la nube para integrar la información entre las áreas internas o automatizar ciertos procesos; mientras que, del lado de Empleados, se denota una brecha importante en el desarrollo de las competencias necesarias para adaptarse a las características de la Industria 4.0. Finalmente, al evaluar las dimensiones de Productos Inteligentes y Servicios basados en datos, se obtuvo un nivel 0 al no contar con elementos tecnológicos que permitan cumplir con las funcionalidades requeridas por la Industria 4.0 y no presentar iniciativas que permitan desarrollarlas. Se debe tomar en cuenta que, como se pudo observar en el análisis del sector y la validación con expertos, estas funcionalidades no resultan ser clave para el sector Textil-Confecciones, lo que explica en cierta medida el nulo avance en este aspecto.

En cuanto a Textil del Valle S.A., la organización alcanza un nivel 2 perteneciendo al grupo de “Aprendices”, siendo caracterizada como “Intermedio”. La empresa tiene un nivel 3 de

preparación en la dimensión de Operaciones Inteligentes, ya que cuenta con un alto grado de integración interdepartamental de la información gracias a la implementación de sistemas de TI, el desarrollo de soluciones basadas en la nube para almacenar y utilizar la data; y, la inclusión de fases de piloto para el guiado autónomo de piezas de trabajo. Por el lado de la dimensión de Empleados, también presenta un nivel 3 al contar con un conjunto de colaboradores que han desarrollado habilidades y competencias en términos de tecnología de automatización, análisis de datos y conocimiento en infraestructura de TI. Ahora bien, en la dimensión de Estrategia y Organización, Textil del Valle se encuentra en nivel 2 porque la Industria 4.0 es parte del proceso estratégico, están articulando un sistema de indicadores que brindan una orientación inicial sobre el cumplimiento de los objetivos de la estrategia y su impacto en el negocio, asignando una gran parte del presupuesto en la inversión en maquinaria y sistemas para el desarrollo de la tecnología 4.0 e implementando una gestión sistemática de la innovación en áreas de TI y desarrollo de productos. Asimismo, en la dimensión de Fábrica Inteligente, cuenta con nivel 2 porque posee maquinaria con un alto grado de avance tecnológico integrada entre diversas áreas y que puede ser controlada por medio de sistemas de TI; además, cuenta con un modelado digital de fábrica gracias a la recopilación de información en tiempo real de sus procesos y maquinaria, lo que le permite utilizar su data para realizar mantenimiento predictivo, optimización de tiempos, entre otros.

Finalmente, Textil del Valle también presenta un nivel 0 para las dimensiones de Productos Inteligentes y Servicios Basados en Datos, ya que no cuenta con ninguna funcionalidad integrada como memoria, localización o información del producto, pero principalmente porque no consideran dentro de su oferta a los clientes este tipo de funcionalidades complementarias. Además, al no contar con estas funcionalidades, no pueden ofrecer servicios basados en los datos que se recopilan de los productos, lo que limita su capacidad de obtener mayores ingresos o incluir este aspecto dentro de su modelo de negocios.

*OE 4: Describir las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil del Valle S.A., referente del sector.*

Se reconoce que la organización ha ejecutado proyectos en áreas *core* de la empresa que responden en cierta medida a los factores clave detallados tanto en la literatura como en las entrevistas a expertos. En ese sentido, las iniciativas desarrolladas incluyen mejoras en las distintas jefaturas que componen la Gerencia de Operaciones de Manufactura y la Gerencia de Operaciones Textiles y Desarrollo de Producto, las cuales responden al objetivo de la empresa de alcanzar la excelencia operativa, utilizar información en tiempo real, digitalizar procesos,

automatizar procesos y controlar maquinaria; todo ello alineado a su visión personalizada de la Industria 4.0.

En primer lugar, se evidenciaron los proyectos realizados en el área de costura que permiten programar y controlar la producción realizada; en segundo lugar, los proyectos en el área de acabados permiten a la empresa organizar y controlar la información en tiempo real sobre la eficacia de cada módulo de trabajo. En tercer lugar, en cuanto al área de tejeduría, las mejoras le permitieron a la empresa automatizar procesos de recepción de hilo, simplificar el registro de calidad de los parámetros de funcionamiento de las máquinas, implementar la lectura de códigos de barras y recopilar información en tiempo real sobre el funcionamiento de las máquinas. Por su parte, en el área de desarrollo de prendas, se incorporó el software de fitting virtual 3D que le permite acortar los tiempos de aprobación del producto; además del sistema de fichas técnicas que agiliza la producción en planta. Por último, se observa que los proyectos desarrollados en el área de estampado se encuentran orientados a la inversión en maquinaria moderna de alta producción y el control en tiempo real de la misma.

*OE 5: Proponer el roadmap idóneo para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0 por parte de Confecciones Polcyr S.R.L.*

El *roadmap* propuesto se conforma por tres fases secuenciales: evaluación, planeación e implementación. En lo que respecta a la fase de evaluación, en esta se utilizan como inputs los factores clave de preparación definidos en el primer objetivo de investigación y el análisis del sector Textil-Confecciones. En esta fase, como primer paso se debe desarrollar un entendimiento común con respecto a los objetivos y metas de la Industria 4.0 en el contexto del sector en el cual se desempeña la empresa, y se debe realizar una evaluación para determinar el nivel de preparación de la empresa siguiendo el modelo planteado por Lichtblau et al. (2015). En cuanto a la fase de planeación, se toman como inputs el nivel de preparación obtenido por la empresa, el análisis interno de la organización y el análisis de un benchmark del sector. De esta manera, se inicia identificando las brechas y oportunidades para cada dimensión del modelo; luego, se establece el nivel de preparación objetivo para cada uno de estos criterios; y, posteriormente, se diseñan los lineamientos para cada uno de ellos utilizando una herramienta de soporte para la toma de decisiones. Para estos lineamientos, se definen los objetivos, iniciativas e indicadores para monitorearlas. Finalmente, en la fase de implementación, se parte del resultado de la ponderación de las dimensiones y campos de acción para ejecutar los proyectos e iniciativas planteadas tomando en cuenta el cumplimiento de los objetivos y estableciendo responsables.

El *roadmap* desarrollado para el diseño de una estrategia de implementación de Industria 4.0 se considera adecuado para el sujeto de estudio Confecciones Polcyr S.R.L. por los siguientes

motivos: (1) toma en cuenta un modelo adecuado para la medición del nivel de preparación como es el modelo de Lichtblau et. al (2015) el cual es aplicable a una PyME; (2) es adaptable a diversos sectores, como el sector Textil-Confecciones, ya que parte del entendimiento de los objetivos y metas estratégicas del sector en el contexto de Industria 4.0; (3) reconoce la necesidad de contar con un benchmark para identificar las brechas y oportunidades de la empresa en su proceso de transformación; (4) toma en cuenta las particularidades y limitaciones de la organización al considerar un análisis interno en la fase de planeación; (5) presenta una herramienta de soporte de toma de decisiones que considera la valoración de expertos, gerentes de la empresa y los objetivos del sector en el que se desarrolla; y (6) propone campos de acción para apoyar al proceso de alcance de nuevos niveles de Industria 4.0.

## **2. Recomendaciones**

Si bien existe una extensa literatura que aborda el fenómeno de la Industria 4.0, el espectro de investigaciones se reduce en cuanto a estudios enfocados en su implicancia para las PyMES; más aún, se encuentran escasos estudios que proponen rutas estratégicas de implementación de la Industria 4.0 aterrizados a sectores específicos. En el caso concreto del Perú, se afirma que el tema de la implementación de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones ha sido poco explorado por parte de la producción académica. Frente a ello, la presente investigación representa un punto de partida para empezar a explorar los potenciales beneficios que representa el nuevo paradigma industrial para incrementar la competitividad del sector peruano. En ese sentido, esta tesis propone una ruta estratégica que orienta a las empresas para lograr con éxito su proceso de transición; no obstante, se reconoce la necesidad de incluir más sujetos de estudio dentro de la metodología de estudio de caso múltiple. Razón por la cual, se recomienda desarrollar más investigaciones que apliquen esta metodología para poder diseñar un *roadmap* que pueda ser aplicado a empresas textiles con el fin de validar que el modelo sea idóneo para el sector textil peruano.

Por otro lado, debido a la limitación de la coyuntura de pandemia que no permitió realizar visitas de campo, la presente investigación ha hecho énfasis en la recopilación de información cualitativa a través de entrevistas virtuales. Sin embargo, se identifica como espacio de oportunidad el uso de data cuantitativa que permita reforzar la validación de los factores clave de implementación de Industria 4.0 identificados a través de las entrevistas, así como los resultados de la ponderación obtenida a través del método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Es decir, en futuras investigaciones se recomienda incluir una encuesta aplicada a una muestra representativa que permita triangular la información obtenida para determinar con mayor detalle aquellos factores que resultan prioritarios para las empresas del sector Textil-Confecciones.

## REFERENCIAS

- Abdulrahman, H. (2019). *Industry 4.0 implementation strategy for Small Medium Enterprises Industry 4.0* (Tesis de maestría, University of Windsor). Recuperada de <https://scholar.uwindsor.ca/etd/8155>
- Asociación de Exportadores ADEX. (30 de abril de 2018). Exportadores de confecciones “ven la luz al final del túnel” [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/exportadores-de-confecciones-ven-la-luz-al-final-del-tunel/>
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy*. [doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4)
- Alarcón, L. (27 de enero de 2020). Gamarra denuncia millonarias pérdidas por importaciones chinas. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/economia/2020/01/27/gamarra-denuncia-millonarias-perdidas-por-importaciones-chinas-la-victoria/>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (enero, 2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3). [doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006](https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006)
- Alferez Mayer, E. L., Berrocal Canchari, J. P., Meza Zegarra, D. A., & Silveira Ramírez, E. A. (2015). *Calidad en el Sector Textil de Lima Metropolitana* (Tesis de maestría, CENTRUM Graduate Business School). Recuperada de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8858>
- Almamalik, L. (marzo, 2020). The Development of the Maturity Model to Assess the Smart Indonesia Manufacturing Companies 4.0 Readiness. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 123 (Icamer 2019), 103-107. [doi.org/10.2991/aebmr.k.200305.026](https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200305.026)
- Amaral, A., Jorge, D., & Peças, P. (marzo, 2019). Small Medium Enterprises and Industry 4.0: Current Models' Ineptitude and the Proposal of a Methodology To Successfully Implement Industry 4.0 in Small Medium Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 41, 1103-1110. [doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.039](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.039)
- Anderl, R., & Fleischer, J. (2015). *Guideline Industrie 4.0: Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses* [Reporte técnico]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/312040745\\_Guideline\\_Industrie\\_4.0\\_-\\_Guiding\\_principles\\_for\\_the\\_implementation\\_of\\_Industrie\\_4.0\\_in\\_small\\_and\\_medium\\_sized\\_businesses](https://www.researchgate.net/publication/312040745_Guideline_Industrie_4.0_-_Guiding_principles_for_the_implementation_of_Industrie_4.0_in_small_and_medium_sized_businesses)
- Asociación Peruana de Técnicos Textiles A.P.T.T. (20 de noviembre de 2019). Conforman la Mesa Ejecutiva para el Desarrollo del Sector Textil. Recuperado de <http://apttperu.com/conforman-la-mesa-ejecutiva-para-el-desarrollo-del-sector-textil/>

- Asociación Peruana de Técnicos Textiles A.P.T.T. (12 de marzo de 2020). EL CONSUMIDOR PIDE APOSTAR POR LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL. Recuperado de <http://aptpperu.com/el-consumidor-pide-apostar-por-la-sostenibilidad-ambiental/>
- Asociación Peruana de Técnicos Textiles A.P.T.T. (11 de junio de 2020). Ranking de Exportadores del Sector Textil - Confecciones. Recuperado de <http://aptpperu.com/cuadros-comparativos-exportacion/>
- Avilés-Sacoto, S. V., Avilés-González, J. F., García-Reyes, H., Bermeo-Samaniego, M. C., Cañazares-Jaramillo, A. K., & Izquierdo-Flores, S. N. (junio, 2019). A Glance of Industry Lance of Industry 4.0 at Supply Chain and Inventory Management. *International Journal of Industrial Engineering*, 26(4), 486-506. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/334836005\\_A\\_glance\\_of\\_I40\\_at\\_Supply\\_chain\\_and\\_Inventory\\_management](https://www.researchgate.net/publication/334836005_A_glance_of_I40_at_Supply_chain_and_Inventory_management)
- Axelsson, J., Froberg, J., & Eriksson, P. (junio, 2018). Towards a system of systems for improved road construction efficiency using lean and industry 4.0. *2018 13th System of Systems Engineering Conference, SoSE 2018*, 576-582. [doi.org/10.1109/SYSOSE.2018.8428698](https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2018.8428698)
- Ayyagari, M., Beck, T., & Demircug-Kunt, A. (enero, 2007). Small and medium enterprises across the globe. *Small Business Economics*, 29(4), 415-434. [doi.org/10.1007/s11187-006-9002-5](https://doi.org/10.1007/s11187-006-9002-5)
- Ayyagari, M., Demircug-Kunt, A., & Maksimovic, V. (enero, 2014). Who creates jobs in developing countries? *Small Business Economics*, 43(1), 75-99. [doi.org/10.1007/s11187-014-9549-5](https://doi.org/10.1007/s11187-014-9549-5)
- Azevedo, A., & Santiago, S. B. (octubre, 2019). Design of an assessment industry 4.0 maturity model: An application to a manufacturing company. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 208-217. Toronto, Canada: IEOM Society International. Recuperado de <http://ieomsociety.org/toronto2019/papers/59.pdf>
- Bag, S., Telukdarie, A., Pretorius, J. H. C., & Gupta, S. (mayo, 2018). Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. *Benchmarking*. [doi.org/10.1108/BIJ-03-2018-0056](https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2018-0056)
- Baheti, R. S., & Gill, H. (octubre, 2011). The impact of control technology. *In IEEE Control Systems Magazine* (31). [doi.org/10.1109/MCS.2011.942051](https://doi.org/10.1109/MCS.2011.942051)
- Banco Mundial. (2018). *Textiles e indumentaria (% del valor agregado en la industrialización) - Perú* [Gráfico]. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.MNF.TXTL.ZS.UN?locations=PE>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (junio, 2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045)
- Bassi, L. (2017). Industry 4.0: Hope, hype or revolution? *RTSI 2017 - IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry, Conference Proceedings*. [doi.org/10.1109/RTSI.2017.8065927](https://doi.org/10.1109/RTSI.2017.8065927)

- Banco Central de Reserva del Perú B.C.R.P. (2018). *MEMORIA 2018*: Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Memoria/2018/memoria-bcrp-2018.pdf>
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (marzo, 2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3) [doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5](https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5)
- Benvenuto, M., & Bäcklin, J. (2019). *Develop a framework and assessing the maturity level to facilitate the transition* (Tesis de maestría, Mälardalen University Sweden). Recuperado de <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-43981>
- Biegler, C., Steinwender, A., Sala, A., Sihm, W., & Rocchi, V. (2018). *Adoption of Factory of the Future technologies - Concept of an impact indicator system to track the path towards the Factory of the Future*. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*. [doi.org/10.1109/ICE.2018.8436310](https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436310)
- Broomé, S., & Renström, A. (2018). *Industry 4.0 - Challenges when implementing Smart Factory* (Tesis de maestría, KARLSTADS UNIVERSITET). Recuperado de <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kau:diva-68323>
- Bullen, C. V., & Rockart, J. F. (1981). *A primer on Critical Success Factors*. (69). pp. 1-64. *Working papers 1220-81. Report of Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sloan School of Management*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/5175561\\_A\\_primer\\_on\\_critical\\_success\\_factors](https://www.researchgate.net/publication/5175561_A_primer_on_critical_success_factors)
- Bustamante, R. (2018). *Textiles Inteligentes*. pp. 26–29. Recuperado de: <http://aptp Peru.com/wp-content/uploads/2018/10/Textiles-Inteligentes.pdf>
- Cardozo, E., Velasquez de Naime, Y., & Rodriguez Monroy, C. (julio, 2012). La definición de PYME en América: Una revisión del estado del arte. *6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Simposio llevado a cabo en el XVI Congreso de Ingeniería de Organización, Vigo, España. Recuperado de <http://ad ingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/2294>
- Chávez, M. (2019). *Innovaciones en el sector textil y confecciones pp. 14–16*. En *Centro de Comercio Exterior de la Cámara de Comercio de Lima-CCEX*. Lima.
- Chávez Sosa, E. R., Rosillo Larios, P. A., García Calle, V. H., & Coello Huamaní, C. F. (2015). *Plan Estratégico del Sector Textil-Confecciones con Fibras de Algodón y Camélidos para Exportación* (Tesis de maestría). Recuperada de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14868>
- Chesbrough, H. (2007). Business model innovation: It's not just about technology anymore. *Strategy and Leadership*, 35(6), 12–17. [doi.org/10.1108/10878570710833714](https://doi.org/10.1108/10878570710833714)
- Chin, T. A., Hamid, A. B. A., Rasli, A., & Baharun, R. (2012). Adoption of Supply Chain Management in SMEs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 65, 614–619. [doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.11.173](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.11.173)
- Chong, L., Ramakrishna, S., & Singh, S. (2018). A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5–8), 2281–2300. [doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3](https://doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3)

- Chonsawat, N., & Sopadang, A. (marzo, 2019). The development of the maturity model to evaluate the smart SMEs 4.0 readiness. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de IEOM Society International, Bangkok, Tailandia.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Mourtzis, D. (2013). Manufacturing Systems: Skills & Competencies for the Future. *Procedia CIRP*, 7, 17–24.  
[doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.004](https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.004)
- CNCF. (2019). *Plan Nacional de Competitividad y Productividad*. Recuperado de [https://www.mef.gob.pe/concedecompetitividad/Plan\\_Nacional\\_de\\_Competitividad\\_y\\_Productividad\\_PNCP.pdf](https://www.mef.gob.pe/concedecompetitividad/Plan_Nacional_de_Competitividad_y_Productividad_PNCP.pdf)
- Coffey, A., & Atkinson, P. (2003). *Encontrar el sentido a los datos cualitativos*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Cooper, W. D. (enero, 2010). Textile and Apparel Supply Chains for the 21st Century. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6(4), 1–10.
- Corporación Ruta N. (2015). Observatorio CT+i: Informe No. 1 Área de oportunidad en textiles inteligentes. In *Igarss 2014*. [doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2](https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2)
- Court, D. (enero, 2015). Getting big impact from big data. *McKinsey Quarterly*, (1), 1–8
- De Bruin, T., Rosemann, M., Freeze, R., & Kulkarni, U. (diciembre, 2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. *ACIS 2005 Proceedings - 16th Australasian Conference on Information Systems*. Simposio llevado a cabo en Queensland University of Technology, Sydney. Recuperado de: [https://eprints.qut.edu.au/25152/1/Understanding\\_the\\_Main\\_Phases\\_of\\_Developing\\_a\\_Maturity\\_Assessment\\_Model.pdf](https://eprints.qut.edu.au/25152/1/Understanding_the_Main_Phases_of_Developing_a_Maturity_Assessment_Model.pdf)
- Lira J. (2020, Junio 17). *Rueda virtual entre exportadores textiles peruanos y compradores de EE.UU. generó unos US \$3.24 millones*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/rueda-virtual-entre-exportadores-textiles-peruanos-y-compradores-de-eeuu-genero-unos-us-324-millones-noticia/?ref=gesr>
- Dutta, S., & Lanvin, B. (2019). *The Network Readiness Index*. Washington D.C.: Portulans Institute
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihm, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model. *Coma*, (Enero), 495–501.
- Erro-Garcés, A. (abril, 2019). Industry 4.0: defining the research agenda. *Benchmarking*. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Industry-4.0%3A-defining-the-research-agenda-Erro-Garc%C3%A9s/2ef4bbe32b9d496021d7ec0bfd29d994aca87487>  
[doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444](https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444)
- Fettig, K., Gacic, T., Koskal, A., Kuhn, A., & Stuber, F. (junio, 2018). Impact of Industry 4.0 on Organizational Structures. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de IEEE, Stuttgart. [doi.org/10.1109/ICE.2018.8436284](https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436284)

- Flores-Saldivar, A. A., Li, Y., Chen, W.-N., Zhan, Z.-H., Flores Saldivar, A. A., Zhang, J., & Chen, L. Y. (septiembre, 2015). Industry 4.0 with Cyber-Physical Integration: A Design and Manufacture Perspective. Computational Intelligence Aided Design and Manufacture View project Ignition Timing Control for HCCI Engine View project Industry 4.0 with Cyber-Physical Integration. *21st International Conference on Automation & Computing*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de la Universidad de Strathclyde, Glasgow, Reino Unido. [doi.org/10.1109/IConAC.2015.7313954](https://doi.org/10.1109/IConAC.2015.7313954)
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119–1128. [doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2073](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2073)
- Garcia, M. L., & Bray, O. H. (abril, 1997). Fundamentals of Technology Roadmapping. *Sandia National Laboratories* (Vol. SAND97-066). Recuperado de <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/1997/970665.pdf>
- Gehrke, L., & Rule, D. (abril, 2015). A Discussion of Qualifications and A German and American Perspective. Simposio llevado a cabo en la conferencia de Hannover Messe 2015, Hanover, Alemania. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/279201790\\_A\\_Discussion\\_of\\_Qualifications\\_and\\_Skills\\_in\\_the\\_Factory\\_of\\_the\\_Future\\_A\\_German\\_and\\_American\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/279201790_A_Discussion_of_Qualifications_and_Skills_in_the_Factory_of_the_Future_A_German_and_American_Perspective)
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. En *2016 Global Industry 4.0 Survey*. Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghobakhloo, M. (mayo, 2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. [doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057](https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057)
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos cualitativos en Investigación Cualitativa*. Vol. 25. Madrid: Ediciones Morata.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0, The Industrial Internet of Things*. In *Apress*. Vol. 146. Tailandia: Ediciones Apress. [doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4)
- Giulfo, J. M., Guerrero, E. M., Marill del Aguila, C. A., & Porto, V. C. (2011). *Planeamiento estratégico del sector textil confecciones peruano* (Tesis de maestría). Recuperada de <https://www.worldcat.org/title/planeamiento-estrategico-del-sector-textil-confecciones-peruano/oclc/759496373>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New Jersey: AldineTransaction.
- Gökalp, E., Sener, U., & Eren, P. E. (noviembre, 2017). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de Informatics Institute, Middle East Technical University, Ankara, Turquía. [doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7)

- Grand View Research. (2019). *Smart Fabrics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Active, Very Smart), By End Use (Defense & Military, Sports & Fitness), By Functionality (Sensing, Energy Harvesting), And Segment Forecasts, 2019 - 2025*. Recuperado de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-textiles-industry>
- Gutarra Romero, R. J., & Valente Mercado, A. G. (2018). Las Mipymes tecnológicas peruanas al 2030. Estrategias para su inserción a la industria 4.0. *Nova Scientia*, 10(20), 754. [doi.org/10.21640/ns.v10i20.1329](https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1329)
- Haddud, A., DeSouza, A., Khare, A., & Lee, H. (2017). Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(8), 1055–1085. [doi.org/10.1108/JMTM-05-2017-0094](https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2017-0094)
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (marzo, 2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de IEEE Computer Society, Hawaii. [doi.org/10.1109/HICSS.2016.488](https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488)
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana Editores.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 28(1). [doi.org/10.2307/25148625](https://doi.org/10.2307/25148625)
- Hoejin, K., Yirong, L., & Tzu-Liang, B. T. (2018). A review on quality control in additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3). [doi.org/10.1108/RPJ-03-2017-0048](https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2017-0048)
- Hoerl, R. W., Snee, R. D., & De Veaux, R. D. (2014). Applying statistical thinking to “Big Data” problems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 6(4). [doi.org/10.1002/wics.1306](https://doi.org/10.1002/wics.1306)
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89. [doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.00](https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.00)
- Huang, C.-J., Talla Chicoma, E., & Huang, Y.-H. (2019). Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru. *Processes*, 7(3). [doi.org/10.3390/pr7030161](https://doi.org/10.3390/pr7030161)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Dirección Nacional de Cuentas Nacionales. Recuperado de <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>
- Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior. (2016). Estudio del comportamiento de las exportaciones peruanas del sector confecciones. En *Cámara de Comercio Lima*. Recuperado de [https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/estudio1/estudio\\_del\\_comportamiento\\_de\\_las\\_exportaciones\\_peruanas\\_del\\_sector\\_confecciones\\_s-l.pdf](https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/estudio1/estudio_del_comportamiento_de_las_exportaciones_peruanas_del_sector_confecciones_s-l.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Encuesta nacional de innovación en la industria manufacturera*. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1415/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1415/libro.pdf)
- International Trade Center (Cartógrafo) (2019). Trademap. Trade Statistics for International Business Development: monthly, quarterly and yearly trade data, import & export values, volumes, growth rates, market shares, etc. Recuperado de <https://www.trademap.org/>
- Jazdi, N. (septiembre, 2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de Institute of Industrial Automation and Software Engineering, University of Stuttgart, Alemania. [doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843](https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843)
- Jung, K., Kulvatunyou, B., Choi, S., & Brundage, M. (2016). An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 1, 705-712. [doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_83)
- Jussen, P., Kuntz, J., Senderek, R., & Moser, B. (2019). Smart service engineering. *Procedia CIRP*, 83. [doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.089](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.089)
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization - Value Creation in the Age of Industry 4.0. *Management of Permanent Change*, 1-240. [doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6)
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. In *Wirtschaft und Wissenschaft begleiten die Hightech-Strategie*. Recuperado de <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>
- Kampker, A., Husmann, M., Harland, T., Jussen, P., & Steinbauer, M. (junio, 2018). Six Principles for Successful Data-Driven Service Innovation in Industrial Companies. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de IEEE, Alemania. [doi.org/10.1109/ICE.2018.8436309](https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436309)
- Kannus, K., & Ilvonen, I. (junio, 2018). Future Prospects of Cyber Security in Manufacturing: Findings de a Delphi Study. *51st Hawaii International Conference on System Sciences*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de Hawaii. [doi.org/10.24251/HICSS.2018.599](https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.599)
- Kaya, İ., Erdoğan, M., Karışan, A., & Özkan, B. (mayo, 2020). Creating a road map for industry 4.0 by using an integrated fuzzy multicriteria decision-making methodology. *Soft Computing*. [doi.org/10.1007/s00500-020-05041-0](https://doi.org/10.1007/s00500-020-05041-0)
- Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia Manufacturing*, 21, 782-789. [doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.184](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.184)

- Keller, M., Rosenberg, M., Brettel, M., & Friederichsen, N. (agosto, 2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37–44.
- Kemper, M., Gloy, Y.-S., & Gries, T. (junio, 2016). The vision of smart textile production 4.0. *Technical Textiles / Technische Textilien*, 59(2), 64–65.
- Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (enero, 2014). Industry 4.0 - Opportunities and challenges of the industrial internet. *Strategy & Formerly Booz & Company, PwC*, 13. [doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.002](https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.002)
- Küstners, D., Praß, N., & Gloy, Y. S. (diciembre, 2017). Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany’s Textile Industry for the Digital Future. *Procedia Manufacturing*, 9. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.035](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.035)
- Lasi, H., Kemper, H.-G., Felttke, P., Feld, T., & Hoffmann, M. (agosto, 2014). Industry 4.0 in Business & Information System Engineering. *Business & Information System Engineering*, 6(4), 239–242. [doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4](https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4)
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (diciembre, 2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3. [doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001)
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (diciembre, 2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16. [doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001)
- Leuren, H., & Abbosh, O. (2019). Shaping the Sustainability of Production Systems: Fourth Industrial Revolution technologies for competitiveness and sustainable growth. Recuperado de [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Sustainability\\_Production\\_Systems.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Sustainability_Production_Systems.pdf)
- Liborio, M., Berrah, L., & Tabourot, L. (2020). Is a digital transformation framework enough for manufacturing smart products ? The case of Small and Medium Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 42. [doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.024](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.024)
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0 Readiness*. Aachen, Cologne: VDMA, IW Consult, FIR at RWTH Aachen.
- Ly, P. T. M., Lai, W. H., Hsu, C. W., & Shih, F. Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*, 136(Julio), 1–13. [doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.016](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.016)
- Marshall, C., & Rossman, G. B. (1995). *Designing Qualitative Research* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Martínez, C., Galdos, M. S., Varela, C., Patricia, G., Díaz, V., Profesor, A. :, & Graham, A. (2015). *Planeamiento Estratégico para el Sector Textil y de Confecciones de Perú con Economía Circular* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14962>

- Matt, D. T., & Rauch, E. (2020). SME 4.0: The Role of Small- and Medium- Sized Enterprises in the Digital Transformation. In D. T. Matt & E. Rauch (Eds.), *Industry 4.0 for SMEs* (pp. 3–36). [doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4)
- McKinsey Digital. (2015). *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. 1–62. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigate-the-digitization-of-the-manufacturing-sector#>
- Mettler, T. (2009). *A Design Science Research Perspective on Maturity Models in Information Systems*. 41(0). Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/44939433\\_A\\_Design\\_Science\\_Research\\_Perspective\\_on\\_Maturity\\_Models\\_in\\_Information\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/44939433_A_Design_Science_Research_Perspective_on_Maturity_Models_in_Information_Systems)
- Mettler, T. (enero, 2011). Maturity assessment models: a design science research approach. *International Journal of Society Systems Science*, 3(1/2), 81–98. [doi.org/10.1504/ijss.2011.038934](https://doi.org/10.1504/ijss.2011.038934)
- Meyer, G. G., Främling, K., & Holmström, J. (diciembre, 2009). Intelligent Products: A survey. *Computers in Industry*, 60(3), 137–148. [doi.org/10.1016/j.compind.2008.12.005](https://doi.org/10.1016/j.compind.2008.12.005)
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2008). *Estudio comparado de normas técnicas, nacionales e internacionales, relacionadas al sector textil confecciones*. Lima. Recuperado de [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/Sites/ueperu/licitacion/pdfs/8\\_Informe\\_Final\\_TdR\\_3331Normas\\_Tecnicas.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/Sites/ueperu/licitacion/pdfs/8_Informe_Final_TdR_3331Normas_Tecnicas.pdf)
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2019). *Reporte Mensual De Comercio - Marzo 2019*. Recuperado de [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/estadisticas\\_y\\_publicaciones/estadisticas/exportaciones/2019/RMC\\_Febrero\\_2019.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/estadisticas_y_publicaciones/estadisticas/exportaciones/2019/RMC_Febrero_2019.pdf)
- Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. (2017). Informe sobre la PYME 2016. En *Colección Panorama PYME*. Recuperado de <http://www.ipyme.org/Publicaciones/Informe-PYME2016.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). Reactiva Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mef/campanas/1159-reactiva-peru>
- Ministerio de la Producción. (2015). *Industria Textil y Confecciones: Estudio de investigación sectorial*. Recuperado de [http://ogeiec.produce.gob.pe/images/oeec/docTrab\\_Textil.pdf](http://ogeiec.produce.gob.pe/images/oeec/docTrab_Textil.pdf)
- Ministerio de la Producción. (2018). *Estadística MIPYME*. Recuperado de <http://ogeiec.produce.gob.pe/index.php/shortcode/estadistica-oeec/estadisticas-mipyme>
- Ministerio de la Producción. (2019a). Anuario Estadístico Industrial, Mipyme y Comercio Interno 2018. En *Estudios económicos*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/informes-publicaciones/279944-anuario-estadistico-2018>

- Ministerio de la Producción. (2019b). *Reporte de la Producción Manufacturera* [Reporte]. Recuperado de <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/oeec-documentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/872-2019-diciembre-report-de-produccion-manufacturera>
- Ministerio de la Producción. (2020). *Desempeño del Sector Industrial Manufacturera - Junio 2020*. Recuperado de <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/estadistica-oeec/estadisticas-manufactura>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (octubre, 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. [doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005)
- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (julio, 2019). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*. [doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323](https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323)
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (febrero, 2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. [doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647](https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647)
- Mogos, M. F., Eleftheriadis, R. J., & Myklebust, O. (enero, 2019). Enablers and inhibitors of industry 4.0: Results of a survey of industrial companies in Norway. *Procedia CIRP*, 81, 624–629. [doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.166](https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.166)
- Mohamed, M. (julio, 2018). Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3). [doi.org/10.22034/2018.3.7](https://doi.org/10.22034/2018.3.7)
- Monostori, L. (diciembre, 2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17. [doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115)
- Müller, J. M. (diciembre, 2019). Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: Strategies for industry 4.0 providers and users. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(8). [doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0008](https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0008)
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (julio, 2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, [doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019)
- Murillo, A. F., Gaur, V., Giraldo, J., Cardenas, A. A., & Rueda, S. (abril, 2018). Virtual incident response functions in control systems. *Computer Networks*, 135. [doi.org/10.1016/j.comnet.2018.01.040](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.01.040)
- Nikkhou, S., Taghizadeh, K., & Hajiyakhchali, S. (julio, 2016). Designing a Portfolio Management Maturity Model (Elena). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226. [doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.194](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.194)

- Nikolic, B., Ignjatic, J., Suzic, N., Stevanov, B., & Rikalovic, A. (2017). Predictive manufacturing systems in industry 4.0: Trends, benefits and challenges. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de DAAAM International, Vienna, Austria. [doi.org/10.2507/28th.daaam.proceedings.112](https://doi.org/10.2507/28th.daaam.proceedings.112)
- Noreña, A. L., Alcaraz-Moreno, N., Rojas, J. G., & Rebolledo-Malpica, D. (setiembre, 2012). Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichán*, 12(3), 263–274. [doi.org/10.5294/aqui.2012.12.3.5](https://doi.org/10.5294/aqui.2012.12.3.5)
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (diciembre, 2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215–1222. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035)
- Nwaiwu, F., Duduci, M., Chromjakova, F., & Otekhile, C. A. F. (febrero, 2020). Industry 4.0 concepts within the czech sme manufacturing sector: An empirical assessment of critical success factors. *Business: Theory and Practice*, 21(1), 58–70. [doi.org/10.3846/btp.2020.10712](https://doi.org/10.3846/btp.2020.10712)
- Nyberg, E., Nilsen, S., & Freilich, J. (2016). The adoption of Industry 4.0 technologies in manufacturing – a multiple case study. Recuperado de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952337/FULLTEXT01.pdf>
- Organización Mundial del Comercio. (2016). *Informe sobre el Comercio Mundial 2016: Igualdad de condiciones para el comercio de las pymes* [Informe]. Recuperado de [https://www.wto.org/spanish/res/s/booksp/s/world\\_trade\\_report16\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res/s/booksp/s/world_trade_report16_s.pdf)
- Organización Mundial del Comercio. (2019). *Examen estadístico del comercio mundial*. Suiza. Recuperado de [https://www.wto.org/spanish/res/s/statis/s/wts2019\\_s/wts19\\_toc\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/res/s/statis/s/wts2019_s/wts19_toc_s.htm)
- Ortega Suárez, G. Y. (2004). *El cultivo del algodón en el departamento de Piura: una configuración y diagnóstico de su cadena productiva* (Tesis de licenciatura). Recuperado de <https://hdl.handle.net/11042/1316>
- Pacchini, A. P., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (setiembre, 2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103–125. [doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125](https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125)
- Pereira, A. C., & Romero, F. (diciembre, 2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032)
- Pereira Bolaños, C. A. (mayo, 2019). Actualidad de la gestión empresarial en las pymes. *Apuntes Contables*, (24), 39–53. [doi.org/10.18601/16577175.n24.03](https://doi.org/10.18601/16577175.n24.03)
- Pérez, V., Rodríguez, C., Ingar, B., Court, E., & Panez, M. (2010). *Sector Textil del Perú* [Reporte financiero]. Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/46140425/BRLA-Peruvian-Textile-Industry-201003pdf/>
- Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (enero, 2017). Roadmap Industry 4.0 - Implementation guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 5–26. [doi.org/10.11648/j.ijsts.20170506.14](https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20170506.14)

- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (enero-febrero, 2004). Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2). [doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Pinzone, M., Fantini, P., Perini, S., Garavaglia, S., Taisch, M., & Miragliotta, G. (agosto, 2017). Jobs and Skills in Industry 4.: An Exploratory Research. *International Federation for Information Processing*, 282-288. [doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6)
- Ponce Regalado, M. de F., & Pasco Dalla Porta, M. M. (2018). *Guía de Investigación en Gestión*. Lugar: Facultad de Gestión y Alta Dirección, PUCP.
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (junio, 2011). What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. *19th European Conference on Information Systems, ECIS 2011*. Simposio llevado a cabo en la ECIS, Helsinki, Finlandia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/221409904\\_What\\_makes\\_a\\_useful\\_maturity\\_model\\_A\\_framework\\_of\\_general\\_design\\_principles\\_for\\_maturity\\_models\\_and\\_its\\_demonstration\\_in\\_business\\_process\\_management](https://www.researchgate.net/publication/221409904_What_makes_a_useful_maturity_model_A_framework_of_general_design_principles_for_maturity_models_and_its_demonstration_in_business_process_management)
- Posada, C. (2018). Baja innovación frena exportación no tradicional. *La Cámara* (6), 6-8. Recuperado de [https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/edicion837/edicion\\_837final.pdf](https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/edicion837/edicion_837final.pdf)
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., ... Vallarino, I. (marzo, 2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2). [doi.org/10.1109/MCG.2015.45](https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45)
- Proença, D., & Borbinha, J. (diciembre, 2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. *Procedia Computer Science*, 100. [doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279)
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (diciembre, 2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52. [doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005)
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (diciembre, 2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69. [doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108)
- Redacción Interempresas. (1 de julio de 2019). La innovación lidera el camino en ITMA 2019. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Textil/Articulos/250910-La-innovacion-lidera-el-camino-en-ITMA-2019.html>
- Redacción Mundo Textil. (25 de marzo de 2019). NECESITAMOS UNA POLÍTICA DE ESTADO QUE SEA INFLEXIBLE CON LA COMPETENCIA DESLEAL. Recuperado de <https://apttperu.com/necesitamos-una-politica-de-estado-que-sea-inflexible-con-la-competencia-desleal/>
- Rejikumar, G., Raja, S. V., Arunprasad, P., Jinil, P., & Sreeraj, K. M. (octubre, 2019). Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking: An International Journal*, 26(8), 2514-2542. [doi.org/10.1108/bij-09-2018-0281](https://doi.org/10.1108/bij-09-2018-0281)

- Rockart, J. F. (marzo, 1979). Chief Executives Define Their Own Data Needs. *Harvard Business Review*, 57. Recuperado de <https://hbr.org/1979/03/chief-executives-define-their-own-data-needs>
- Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (abril, 2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group. Recuperado de [https://image-src.bcg.com/Images/Industry\\_40\\_Future\\_of\\_Productivity\\_April\\_2015\\_tcm9-61694.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf)
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Nueva York, EEUU: McGraw Hill.
- Saaty, T. L. (septiembre,1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), , 9–26. [doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saggiomo, M., Wischnowski, M., Winkel, B., Nierhaus, M., Gloy, Y.-S., & Gries, T. (marzo, 2015). Industry 4.0 in the field of textile machinery – first steps of. *Melliand International*, (1). Recuperado de <http://search.ebscohost.com.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login.aspx?direct=true&db=eh&AN=101810780&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Santos, C., Mehrsai, A., Barros, A. C., Araújo, M., & Ares, E. (junio, 2017). Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, 13, 972–979. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093)
- Sato Duarte, A. Y., Sanches, R. A., & Dedini, F. G. (julio, 2018). Assessment and technological forecasting in the textile industry: The first industrial revolution to the Industry 4.0. *Strategic Design Research Journal*, 11(3),193–202. [doi.org/10.4013/sdrj.2018.113.03](https://doi.org/10.4013/sdrj.2018.113.03)
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students* (5ta edición). Reino Unido: Pearson Education.
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (febrero, 2014). Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. *Production Engineering*, 9(1), 143–148. [doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3](https://doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3)
- Schmidt, R., Härting, R.-C., Möhring, M., & Reichstein, C. (junio, 2015). Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. *Lecture Notes in Business Information Processing*. [doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3)
- Schuh, G., Gausemeier, J., Wahlster, W., Anderl, R., & ten Hompel, M. (2017). *Industry 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies*. Recuperado de [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf)
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., & Prote, J. P. (diciembre, 2014). Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19(C), 51–56. [doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016)
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (diciembre, 2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. [doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040)

- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihm, W. (julio, 2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409–414. [doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110](https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110)
- Schwab, K. (2019). *The Global Competitiveness Report*. Recuperado de <https://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2019>
- SENATI. (2020). *Centro Tecnológico de Textiles y Confecciones*. Recuperado de <https://www.senati.edu.pe/content/centro-tecnologico-de-textiles-y-confecciones>
- Sevinç, A., Gür, Ş., & Eren, T. (diciembre, 2018). Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process. *Processes*, 6(12). [doi.org/10.3390/pr6120264](https://doi.org/10.3390/pr6120264)
- Shamim, S., Cang, S., Yu, H., & Li, Y. (2016). Management Approaches for Industry 4.0. *Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress* (5309–5316) [doi.org/10.1109/CEC.2016.7748365](https://doi.org/10.1109/CEC.2016.7748365)
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (697–701). [doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058728](https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058728)
- Singh Chatha, K. (2019). *Impacts of Industry 4.0 on Swedish Manufacturing SMEs Context* (Tesis de bachillerato). Recuperado de <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-45975>
- Solís, J. (29 de marzo de 2018). Factores de Éxito de la Tecnología Alemana de Maquinaria Textil. Recuperado de <https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/2018/03/factores-de-exito-de-la-tecnologia-maquinaria-textil-alemana/>
- Sommer, L. (septiembre, 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. [doi.org/10.3926/jiem.1470](https://doi.org/10.3926/jiem.1470)
- Sony, M., & Naik, S. (enero, 2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(7). [doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284](https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284)
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40(Icc), 536–541. [doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129)
- Storey, V. C., & Song, I. Y. (marzo, 2017). Big data technologies and Management: What conceptual modeling can do. *Data and Knowledge Engineering*, 108, 50–67. [doi.org/10.1016/j.datak.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.datak.2017.01.001)
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M., & Wang, L. (junio, 2015). Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality. *Procedia Manufacturing*, 1, 98–109. [doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068)
- Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., & Brewster, R. L. (mayo, 2016). Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future - Operators' Perspective on Augmented Reality. *Procedia CIRP*, 44, 108–113. [doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017)

- Tan, J. S. K., Ang, A. K., Lu, L., Gan, S. W. Q., & Corral, M. G. (2016). Quality Analytics in a Big Data supply chain: Commodity data analytics for quality engineering. En *2016 IEEE Region 10 Annual International Conference*, (pp. 3455-3463). Marina Bay Sands, Singapore: Institute of Electrical and Electronics Engineers. [doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848697](https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848697)
- Tan, W., Xu, Y., Xu, W., Xu, L., Zhao, X., Wang, L., & Fu, L. (agosto, 2010). A methodology toward manufacturing grid-based virtual enterprise operation platform. *Enterprise Information Systems*, 4(3), 283–309.. [doi.org/10.1080/17517575.2010.504888](https://doi.org/10.1080/17517575.2010.504888)
- Tao, F., & Qi, Q. (enero, 2019). New IT driven service-oriented smart manufacturing: Framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 81–91. [doi.org/10.1109/TSMC.2017.2723764](https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2723764)
- Trotta, D., & Garengo, P. (2019). Assessing Industry 4.0 Maturity: An Essential Scale for SMEs. En *2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management*, (pp. 69–74). Cambridge, Reino Unido: Institute of Electrical and Electronics Engineers. [doi.org/10.1109/ICITM.2019.8710716](https://doi.org/10.1109/ICITM.2019.8710716)
- Universidad de Lima. (2020), C. de EE. en Innovación Textil (CEITEX). Recuperado de <https://www.ulima.edu.pe/ceitex/presentacion>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (enero, 2018). Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing* 20, 233–238. [doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034)
- Velásquez, N., Estevez, E., & Pesado, P. (diciembre, 2018). Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures. *Journal of Computer Science and Technology* 18(03). [doi.org/10.24215/16666038.18.e29](https://doi.org/10.24215/16666038.18.e29)
- Villa, G. G. (junio, 2018). *The influence of different innovation enablers on the adoption of Industry 4.0 by SMEs and large companies: A comparative case study* (Tesis de maestría, Uppsala University). Recuperado de <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-355457>
- Waibel, M. W., Steenkamp, L. P., Moloko, N., & Oosthuizen, G. A. (diciembre, 2017). Investigating the Effects of Smart Production Systems on Sustainability Elements. *Procedia Manufacturing* 8, 731–737. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.094](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.094)
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (junio, 2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110. [doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014)
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (enero, 2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. [doi.org/10.1155/2016/3159805](https://doi.org/10.1155/2016/3159805)
- Wang, Y., Ma, H. S., Yang, J. H., & Wang, K. S. (noviembre, 2017). Industry 4.0: a way de mass customization to mass personalization production. *Advances in Manufacturing* 5(4), 311–320. [doi.org/10.1007/s40436-017-0204-7](https://doi.org/10.1007/s40436-017-0204-7)

- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (diciembre, 2015). Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine* 28(3), 579–584. [doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143)
- Wiesner, S., Gaiardelli, P., Gritti, N., & Oberti, G. (agosto, 2018). Maturity Models for Digitalization in Manufacturing - Applicability for SMEs. In I. Moon, G. Lee, J. Park, D. Kiritsis, & G. von Cieminski (Eds.). *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. Simposio llevado a cabo en la conferencia de *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 536, pp. 81–88), Suiza. [doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_11)
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering* 182, 763–769. [doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197)
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (marzo, 2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research* 56(8), 2941–2962. [doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806](https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806)
- Yang, C., Lan, S., Shen, W., Huang, G. Q., Wang, X., & Lin, T. (febrero, 2017). Towards product customization and personalization in IoT-enabled cloud manufacturing. *Cluster Computing* 20(2), 311–320. [doi.org/10.1007/s10586-017-0767-x](https://doi.org/10.1007/s10586-017-0767-x)
- Yin, R. (2018). Case Study Research and Applications: Design and Methods. En Sage (6ta edición). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/308385754\\_Robert\\_K\\_Yin\\_2014\\_Case\\_Study\\_Research\\_Design\\_and\\_Methods\\_5th\\_ed\\_Thousand\\_Oaks\\_CA\\_Sage\\_282\\_pages](https://www.researchgate.net/publication/308385754_Robert_K_Yin_2014_Case_Study_Research_Design_and_Methods_5th_ed_Thousand_Oaks_CA_Sage_282_pages)
- Yoon, S. H., Thin, N. S., Thao, V. T. T., Im, E. T., & Gim, G. Y. (2019). A Study on Success Factors for Business Model Innovation in the 4th Industrial Revolution. Recuperado de [doi.org/10.1007/978-3-319-98881-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98881-8_8)
- Zanero, S. (abril, 2017). Cyber-Physical Systems. *Computer* 50(4), 14–16. [doi.org/10.1109/MC.2017.105](https://doi.org/10.1109/MC.2017.105)
- Zuehlke, D. (abril, 2010). SmartFactory-Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control* 34(1), 129–138. [doi.org/10.1016/j.arcontrol.2010.02.008](https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2010.02.008)
- Zwikael, O. & Globerson, S. (setiembre, 2006). From Critical Success Factors to Critical Success Processes. *International Journal of Production Research* 44(17), 3433–3449. [doi.org/10.1080/00207540500536921](https://doi.org/10.1080/00207540500536921)

## ANEXO A: Limitaciones de la Industria 4.0

Tabla A1: Retos y desafíos de la Industria 4.0

Autores	Retos y desafíos de la Industria 4.0
Küsters et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incertidumbres sobre los beneficios financieros debido a la falta de casos comerciales demostrados que justifiquen las inversiones.</li> <li>- No hay estrategia para coordinar acciones entre diferentes unidades organizativas.</li> <li>- Falta de talento y capacidades, además de poca presencia de científicos de datos.</li> <li>- Falta de coraje para impulsar una transformación radical.</li> <li>- Preocupaciones de ciberseguridad con proveedores externos.</li> <li>- Resistencia a compartir información con proveedores y clientes por el lado de seguridad informática.</li> </ul>
Nyberg, Nilsen y Freilich (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración horizontal a través de redes de valor.</li> <li>- Integración vertical debido a la reducción de jerarquías.</li> <li>- Gestión del ciclo de vida e ingeniería de extremo a extremo.</li> <li>- El ser humano como conductor de valor agregado.</li> </ul>
Stock y Seliger (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El equipo de fabricación se caracterizará por la aplicación de máquinas, herramientas y robots altamente automatizados. El equipo deberá adaptarse flexiblemente a los cambios en los otros factores de creación de valor.</li> <li>- Disminución de trabajadores por la automatización de trabajos actuales de fabricación.</li> <li>- Los trabajos de fabricación restantes contendrán más trabajo de conocimiento, así como más tareas a corto plazo y difíciles de planificar.</li> <li>- Los trabajadores tienen que monitorear cada vez más el equipo automatizado, integrarse en la toma de decisiones descentralizada y participar en actividades de ingeniería como parte de la ingeniería de extremo a extremo.</li> <li>- La toma de decisiones se desplazará de una instancia central a instancias descentralizadas.</li> </ul>
S. Wang et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se necesitan más capacidades de autonomía y sociabilidad como factores clave de los sistemas auto organizados, mientras que el sistema actual tiene capacidades 3C, es decir, existe falta de autonomía en los sistemas.</li> <li>- La red IWN utilizada hoy en día no puede proporcionar suficiente ancho de banda para la comunicación y transferencia de gran volumen de datos.</li> <li>- Artefactos físicos modulares y flexibles: existe la necesidad de crear una unidad de transporte modular e inteligente que pueda reconfigurar dinámicamente las rutas de producción.</li> </ul>
Vaidya et al. (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de contar con mecanismos inteligentes de toma de decisiones y protocolos de interconectividad de los sistemas.</li> <li>- Problemas de inversión: La inversión significativa que se requiere para implementar la industria 4.0 es difícil para la industria y más para una PyME.</li> <li>- Reducción de los períodos de desarrollo e innovación.</li> <li>- Flexibilidad en la producción debido a las características de los mercados.</li> <li>- Más sostenibilidad: El objetivo es una eficiencia económica y ecológica en la producción, debido al aumento de los precios de los recursos, así como al cambio social.</li> </ul>

Adaptado de Mohamed (2018)

## ANEXO B: Beneficios de la Industria 4.0

**Tabla B1: Beneficios de la Industria 4.0**

Autores	Beneficios de la Industria 4.0
Ekaterina Uglovskaja (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificación y control avanzados con datos relevantes en tiempo real.</li> <li>- Reacción rápida a cambios en la demanda, nivel de existencias, errores en manufactura</li> <li>- Fabricación sostenible / eficiencia de recursos (materiales, energía, personas).</li> <li>- Mayor calidad, producción flexible y productividad.</li> <li>- Ad-hoc reacción a los cambios del mercado.</li> <li>- Personalización de productos y mayor nivel de satisfacción en el cliente.</li> <li>- Aumento de la ventaja competitiva por la implementación exitosa del modelo de negocio digital y la creación de tecnología.</li> <li>- Reducción de costos y desechos.</li> </ul>
Waibel et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de la sobreproducción y el desperdicio.</li> <li>- Reducción del consumo de energía ya que las tareas intensivas en energía se pueden hacer cuando hay sobreproducción. Uso de recuperación de energía para todo el sistema.</li> <li>- Reducción del transporte y el esfuerzo de viaje.</li> <li>- Ahorro de recursos naturales y contribución a la dimensión ambiental.</li> </ul>
Barreto et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción descentralizada y digitalizada, donde los elementos de producción pueden controlarse de manera autónoma.</li> <li>- Los productos se volverán más modulares y configurables, promoviendo la personalización masiva para cumplir con los requisitos específicos del cliente.</li> <li>- Nuevos modelos comerciales innovadores: las cadenas de valor se vuelven más receptivas, aumenta la competitividad mediante la eliminación de barreras entre la información y las estructuras físicas.</li> <li>- La digitalización consiste en la convergencia entre los mundos físico y virtual, y tendrá un impacto generalizado en todos los sectores económicos.</li> <li>- Transformar los trabajos y las habilidades requeridas: evitar lo que se conoce como desempleo tecnológico, redefinir los trabajos actuales y tomar medidas para adaptar la fuerza laboral a los nuevos empleos que se crearán.</li> <li>- Nuevas competencias y es necesario crear oportunidades para la adquisición de las habilidades requeridas a través de una formación de alta calidad.</li> </ul>
Kayikci (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de entrega: cambios en las mejoras de entrega, tiempo de ciclo, tiempo de entrega</li> <li>- Frecuencia de servicio: cambios en la tasa de utilización, intervalos frecuentes.</li> <li>- Precisión del pronóstico: cambios en las incertidumbres de la demanda.</li> <li>- Flexibilidad: cambios en las condiciones de planificación, porcentaje de envíos no programados ejecutados sin demora indebida.</li> <li>- Volúmenes de transporte: cambios en el volumen total de carga transportada.</li> <li>- Aplicaciones: Aplicaciones adecuadas para la digitalización en procesos logísticos.</li> </ul>
Mohamed (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación del prototipado a través de la simulación o la realidad aumentada como mecanismo para adquirir un completo entendimiento de las características de los productos y facilitar la exploración e interacción de las funcionalidades de todos los productos con los stakeholders.</li> </ul>

Adaptado de Mohamed (2018)

## ANEXO C: Modelos de madurez para la Industria 4.0

Tabla C1: Descripción de modelos de madurez para la Industria 4.0

Modelo	Fuente	Descripción	Requerimientos de PyMES
Índice de Madurez de ACATECH	(Schuh, Gausemeier, Wahlster, Anderl y ten Hompel, 2017)	<b>6 niveles:</b> (1) informatización, (2) conectividad, (3) visibilidad, (4) transparencia, (5) capacidad predictiva, (6) adaptabilidad <b>4 dimensiones:</b> recursos, sistemas de información, estructura organizacional, cultura	No considera una perspectiva de Industria 4.0 para PyMES Ausencia de un alcance, propósito, medidas de mejora; y, una metodología para calcular alternativas y decidir entre alternativas
Modelo de madurez para las PyMES inteligentes	(Chonsawat y Sopadang, 2019)	<b>5 dimensiones:</b> Negocio y estrategia organizacional, operaciones y manufactura, proceso impulsado por tecnología, soporte digital y capacidad de las personas.	No posee criterios detallados para cada dimensión que permite evaluar el proceso para el desarrollo de un roadmap para PyMES. No permite comparación de los diversos niveles de madurez.
Modelo de Madurez para la Industria 4.0	(Schumacher et al., 2016)	<b>9 dimensiones:</b> estrategia, liderazgo, clientes, productos, operaciones, cultura, empleados, gobernanza, tecnología.	No considera una perspectiva de Industria 4.0 para PyMES y no cuenta con un proceso de evaluación de madurez. Ausencia de alcance, propósito, medidas de mejora; y, una metodología para calcular y decidir entre alternativas
Evaluación de la Madurez para la Industria 4.0	(Trotta y Garengo, 2019)	<b>5 dimensiones:</b> estrategia, tecnología, producción, productos y personas.	No proporciona una herramienta completa para la medición y aplicabilidad del modelo en las empresas. Diseñado con un enfoque para PyMES pero sin niveles de madurez
Modelo de Adopción de Tecnologías de la Fábrica del Futuro	(Biegler et al., 2018)	<b>5 factores críticos de éxito:</b> estrategia, tecnología, ecosistema que soporte la innovación, capacidad para la innovación; y, habilidades y gestión del cambio	Enfoque en Fábrica Inteligente pero no considera aspectos estratégicos, operativos e indicadores de las PyMES
Marco categórico de fabricación para la Industria 4.0	(Qin et al., 2016)	<b>2 dimensiones</b> con tres niveles de capacidades diferentes: <b>a. Inteligencia:</b> nivel de control, nivel de integración y nivel de inteligencia <b>b. Automatización:</b> máquina, proceso y fábrica	Solo se consideran 5 sistemas de fabricación que podrían no estar presentes en las PyMES. No presenta un índice o nivel que mida la situación actual de la empresa
Modelo de Evaluación para la Industria 4.0	(Gökalp, Sener y Eren, 2017)	<b>6 niveles:</b> (0) incompleto, (1) realizado, (2) gestionado, (3) establecido, (4) predecible, (5) optimizado <b>5 dimensiones:</b> gestión de activos, gobernanza de datos, gestión de aplicaciones, transformación de procesos y alineamiento organizacional	No considera la situación tecnológica actual de las PyMES y la falta de colaboradores capacitados para utilizarlas. Falta de pasos para evaluar la preparación de la empresa.

## ANEXO D: Empresas formales según estrato empresarial

Tabla D1: Distribución de empresas formales según estrato empresarial (2017)

Estrato empresarial (*)	Nº de empresas	%
Microempresa	1,836,848	96.2
Pequeña Empresa	60,702	3.2
Mediana Empresa	2,034	0.1
Total de MiPyme	1,899,584	99.5
Gran empresa	9,245	0.5
Total de empresas	1,908,829	100.0

(\*) El estrato empresarial es determinado de acuerdo con la Ley N° 30056. Se considera gran empresa a aquella cuyas ventas anuales son mayores a 2,300 UIT

Fuente: Ministerio de Producción (2018)



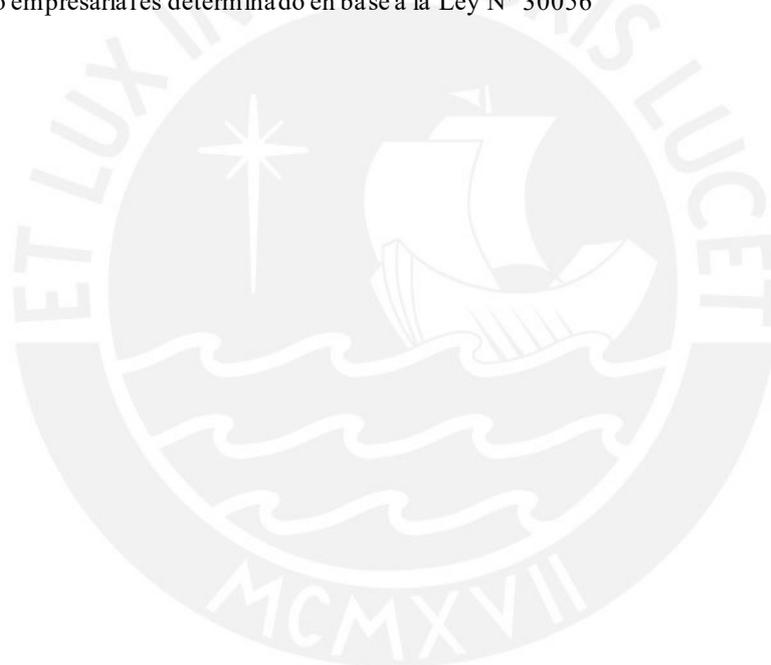
## ANEXO E: MIPyMES formales según sector económico

Tabla E1: Distribución de MIPyMES formales según sector económico, 2013 y 2017

Sector económico	Mipyme 2013		Mipyme 2017		VAP (*) 2013-2017
	Nº	%	Nº	%	
Comercio	694,358	45.9	878,285	46.2	6.1
Servicios	589,357	39.0	784,859	41.3	7.4
Manufactura	144,506	9.6	158,233	8.3	2.3
Construcción	47,378	3.1	41,916	2.2	-3.0
Agropecuario	24,131	1.6	24,004	1.3	-0.1
Minería	9,620	0.6	9,349	0.5	-0.7
Pesca	3,656	0.2	2,938	0.2	-5.3
<b>Total</b>	<b>1,513,006</b>	<b>100</b>	<b>1,899,584</b>	<b>100</b>	<b>5.9</b>
(*) Variación Anual Promedio					

Fuente: Ministerio de Producción (2018)

Nota: El tamaño empresarial es determinado en base a la Ley N° 30056



## ANEXO F: MIPyMES formales en el sector manufacturero, según división CIIU 2017

**Tabla F1: Distribución de MIPyMES formales del sector manufacturero (2017)**

División CIIU 3	Descripción de la división CIIU	Nº mipyme	Part. %
15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	25,933	16.4
18	Fabricación de prendas de vestir	25,834	16.3
36	Fabricación de muebles	19,707	12.5
22	Actividades de edición e impresión	19,051	12.0
28	Fabricación de productos elaborados de metal	18,230	11.5
17	Fabricación de productos textiles	13,632	8.6
	Otros	35,846	22.7
Total		158,233	100

Nota: El tamaño empresarial es determinado con base a la Ley N° 30056

Fuente: Ministerio de Producción (2018)



**ANEXO G: Detalle de componentes en los que el Perú tiene mayor debilidad, según 4 pilares del Índice de Competitividad del World Economic Forum (WEF). Período 2015-2016.**

**Tabla G1: Componentes del Índice de Competitividad del World Economic Forum**

<b>Pilar</b>	<b>Componente</b>	<b>Impacto</b>
Infraestructura	Calidad de la infraestructura portuaria	Repercusión en tiempos, riesgo y costos logísticos
	Calidad de la infraestructura de transporte aéreo	
	Calidad de las carreteras	
Eficiencia del mercado laboral	Efecto de los impuestos sobre los incentivos para trabajar	Los otros países ofrecen más facilidades a los empresarios
	Contratación y despido de prácticas (entendido como la facilidad para realizar dichos actos)	
Sofisticación de los negocios	Estado de desarrollo de clúster	Cadena productiva limitada, siendo menos competente en términos de volumen de productividad y calidad
	La naturaleza de la ventaja competitiva	
	Proceso de producción sofisticada	
	Control de la distribución internacional	
	Valor de amplitud de la cadena	
Innovación	Capacidad de innovación	Otros países vienen desarrollando mejoras en los procesos productivos, generando una brecha de ventaja
	Calidad de las instituciones de investigación científica	
	Gasto de la empresa en I+D	
	Colaboración universidad-industria en I+D	

Adaptado de Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior (2016)

## ANEXO H: Matriz de Consistencia Metodológica

Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
General	¿Cómo debería ser la estrategia de Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0?	Identificar la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa del sector Textil-Confecciones para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0.	No aplica						
Específico	¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?	Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.	1. Industria 4.0	1.1 Evolución desde Industria 1.0 a Industria 4.0 1.2 Definición y Principios 1.3 Tecnologías clave 1.4 Beneficios y limitaciones	No aplica			Literatura Académica	Revisión Documental

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?	Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.	2. Factores Clave de Preparación	2.1 Estrategia organizacional 2.2 Nivel de digitalización de la organización 2.3 Grado de digitalización de la cadena de suministros 2.4 Adaptabilidad de los empleados con la Industria 4.0 2.5 Productos, servicios y fábrica inteligente		No aplica		Literatura Académica Expertos del tema	Revisión Documental Entrevista Semi-Estructurada
Específico	¿Cuáles son los modelos de preparación y madurez de empresas para la Industria 4.0 y su relación con los requerimientos de las PyMES?	Exponer los modelos de preparación y madurez de empresas para la Industria 4.0 y su relación con los requerimientos de las PyMES?	3. Elementos para la estrategia de implementación de la Industria 4.0	3.1 Roadmaps para la implementación de la Industria 4.0 3.2 Modelos de Preparación y Madurez para la Industria 4.0 3.3 Metodología de Desarrollo del "Modelo de Preparación" de Lichtblau et al. (2015) 3.4 Descripción del "Modelo de Preparación" de Lichtblau et al. (2015)		No aplica		Literatura Académica Expertos del tema	Revisión Documental Entrevista Semi-Estructurada

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variabla	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?	Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.	Industria 4.0	1. Adopción de la Industria 4.0 en el Perú 2. Industria 4.0 en Pymes	No aplica			Base de datos Literatura académica Expertos	Revisión Documental Entrevista Semi-Estructurada
			PyMES	3. Contribución de la PyMe en el desarrollo de la economía 3.1. Importancia de la PyME a nivel global 3.2. Importancia de la PyME en la industria manufacturera del Perú	No aplica		Base de datos Literatura académica Expertos del sector		

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?	Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.	4. Sector Textil-Confecciones	4.1. Características del Sector Textil-Confecciones peruano 4.2. Industria 4.0 en el Sector Textil-Confecciones	No aplica			Base de datos Literatura académica Expertos del sector	Revisión Documental Entrevista Semi-Estructurada
			5. Descripción de empresas del sector Textil-Confecciones (Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.)	Estrategia	Organización	Empresa	Tipo de estrategia organizacional Distribución de niveles organizacionales	Gerente General Gerente de Operaciones Jefes de Áreas	Entrevista Semi-Estructurada

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles son los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú?	Definir los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa del sector Textil-Confecciones en el Perú.	5. Descripción de empresas del sector Textil-Confecciones (Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.)	Operaciones	Procesos internos	Empresa	Cantidad de procesos internos Cantidad de maquinaria utilizada en los procesos Tipo de maquinaria utilizada en los procesos	Gerente General Gerente de Operaciones Jefes de Áreas	Entrevista Semi-Estructurada
					Procesos externos	Empresa	Porcentaje de ingresos por productos/servicios entregados Nivel de relacionamiento entre proveedor-empresa Grado de digitalización de proveedor Nivel de integración de los sistemas de comunicación entre proveedor-empresa	Gerente del Proveedor	
				Empleados	Empleados	Empresa	Cantidad de empleados por área Distribución de empleados por área Número de trabajadores con competencias tecnológicas	Gerente General Gerente de Operaciones Jefes de Áreas	

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	VARIABLES	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0?	Determinar y explicar el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0	Nivel de Preparación para la Industria 4.0	Estrategia y Organización	Estrategia	Empresa	Nivel de implementación de una estrategia para la Industria 4.0	Gerencia General y Gerente de Operaciones	Cuestionario Entrevista Semi-estructurada
					Inversiones	Empresa	Porcentaje de inversiones relacionadas a la Industria 4.0		
					Gestión de la Innovación	Empresa	Grado de implementación de una gestión de la innovación		
				Fábrica Inteligente	Modelado Digital	Empresa	Grado de implementación del modelado digital para la producción		
					Infraestructura de equipos	Empresa	Nivel de satisfacción de funcionalidades 4.0 en la infraestructura		
					Utilización de Data	Empresa	Nivel de utilización de la data recolectada		
					Sistemas de TI	Empresa	Grado de soporte de los sistemas de TI a los procesos		

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0?	Determinar y explicar el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0	Nivel de Preparación para la Industria 4.0	Operaciones Inteligentes	Uso de la nube	Empresa	Cantidad de soluciones en la nube implementadas	Gerencia General y Gerente de Operaciones	Cuestionario Entrevista Semi-estructurada
					Seguridad de TI	Empresa	Nivel de implementación de un sistema de seguridad de TI		
					Procesos autónomos	Empresa	Grado de autonomía en los procesos productivos		
					Intercambio de información	Empresa	Nivel de integración de los sistemas de intercambio de información		
				Productos Inteligentes	Análisis de datos en fase de uso	Empresa	Grado de utilización de la data recolectada para sus funciones		
					Funcionalidades complementarias de TI	Empresa	Cantidad de funcionalidades complementarias en los productos		

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	VARIABLES	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0?	Determinar y explicar el nivel de preparación de Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. para la implementación de la Industria 4.0	Nivel de Preparación para la Industria 4.0	Servicios Basados en Datos	Porcentaje de datos utilizados	Empresa	Porcentaje de utilización de data recolectada	Gerencia General y Gerente de Operaciones	Cuestionario Entrevista Semi-estructurada
					Participación en los ingresos	Empresa	Porcentaje de ingresos provenientes de servicios basados en datos		
					Servicios basados en datos	Empresa	Nivel de integración con el cliente de los servicios basados en datos		
				Empleados	Adquisición de habilidades	Empleados	Grado de desarrollo de las habilidades requeridas por la Industria 4.0		
					Conjunto de habilidades de los empleados	Empleados	Cantidad de áreas con empleados calificados para la Industria 4.0		

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles son las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil de Valle S.A., referente del sector?	Describir las iniciativas implementadas vinculadas a la Industria 4.0 por parte de Textil del Valle S.A., referente del sector.	Proyectos de implementación de Industria 4.0	Estrategia	Organización	Empresa	Tipo de objetivos planteados Tipos de mejoras buscadas Grado de inversión requerido	Gerente General Gerente de Operaciones Jefes de Áreas	Entrevista Semi-Estructurada
				Operaciones	Procesos internos y externos	Empresa	Grado de factibilidad del proyecto Grado tecnológico de los recursos requeridos Nivel de avance tecnológico de los procesos		
				Empleados	Empleados	Empresa	Cantidad de empleados con competencias tecnológicas requeridos Grado de resistencia al cambio de los empleados Tipos de capacidades nuevas requeridas		

**Tabla H1: Matriz de Consistencia Metodológica (continuación)**

Matriz de Consistencia	Pregunta de Investigación	Objetivo	Variables	Sub-variables	Unidad de Análisis	Unidad de Observación	Indicadores	Fuentes	Instrumentos
Específico	¿Cuáles el <i>roadmap</i> idóneo para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0 por parte de Confecciones Polcyr S.R.L.?	Proponer el <i>roadmap</i> idóneo para iniciar el proceso de implementación de la Industria 4.0 por parte de Confecciones Polcyr S.R.L.	No aplica						



## ANEXO I: Protocolo para recolección de data del caso de estudio

Tabla I1: Protocolo de recolección de data

Sección A. Descripción general del estudio de caso
<p>El fin del presente estudio de caso radica en identificar las restricciones y oportunidades dentro del proceso de implementación de la Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones peruano. Dentro de esta investigación se tiene por objetivo general la identificación de la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L., una mediana empresa de este sector a partir de: (1) la definición de los factores clave que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0; (2) el nivel de preparación de la empresa para la implementación de la Industria 4.0; y, (3) el análisis de proyectos de Industria 4.0 implementados por el referente del sector.</p>
<p>Se tomará en cuenta el enfoque teórico de autores como Hermann et al. (2016), Koch et al. (2014), Nunes et al. (2017), Pereira y Romero (2017), Rejikumar et al. (2019), Wang et al. (2016) y Xu et al. (2018) para definir a la Industria 4.0 como un nuevo paradigma que permite a las empresas alcanzar un nuevo nivel de digitalización, control e integración vertical y horizontal en toda la cadena de valor del ciclo de vida de los productos. De esta forma, los productos, servicios y las fábricas adquieren la capacidad de “inteligencia” porque por medio de sensores integrados en diversos componentes de los productos y en los equipos de fabricación pueden obtener, analizar y utilizar los datos para la toma de decisiones autónoma en los diversos sistemas de la organización. Además, a través del uso de tecnologías como el Internet de las Cosas se podrá intercambiar una gran cantidad de información en tiempo real, vincularla a los sistemas ciber físicos y lograr ejecutar decisiones descentralizadas que permitan un nuevo nivel de control y flexibilidad, lo que transformará y optimizará los procesos internos de la organización y la relación de los trabajadores con las máquinas.</p>
<p>Por otro lado, se debe tener claridad sobre los principios que permiten diseñar entornos organizacionales ligados al concepto de la Industria 4.0, dónde las diversas tecnologías que están surgiendo puedan tener una aplicación real en los procesos de las empresas. Esta tesis tomará en consideración tres grupos: (1) la interconexión, interoperabilidad y modularidad; (2) la descentralización y capacidad en tiempo real; y, (3) la integración vertical y horizontal de los sistemas, y la transparencia en la información por parte de todos los actores de la cadena de suministros de la organización. Teniendo en cuenta estos principios, se podrán aplicar los pilares tecnológicos descritos por diversos autores como Moeuf et al. (2018), Mohamed (2018), Rübmann et al. (2015) y Xu et al. (2018).</p>
<p>Se deben tomar en cuenta y revisar los factores clave identificados en la literatura antes de proceder con el estudio de caso:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Estrategia Organizacional (Biegler et al., 2018; Erol et al., 2016; Ganzarain y Errasti, 2016; Keller et al., 2014; Moeuf et al., 2019; Müller et al., 2018; Santos et al., 2017; Sony y Naik, 2019).</li><li>• Nivel de digitalización de la organización (Baheti y Gill, 2011; Bassi, 2017; Hofmann y Rüsche, 2017; Lasi et al., 2014; Lee et al., 2015, 2014; Lichtblau et al., 2015; Meyer et al., 2009; Moeuf et al., 2018; Mohamed, 2018; Monostori, 2014; Rübmann et al., 2015; Schlechtendahl et al., 2014; Sony y Naik, 2019; Storey y Song, 2017; Weyer et al., 2015; Zanero, 2017; Zuehlke, 2010).</li><li>• Grado de digitalización de la Cadena de Suministro (Avilés-Sacoto et al., 2019; Barreto et al., 2017; Ghobakhloo, 2018; Hofmann y Rüsche, 2017; Kayikci, 2018; Müller et al., 2018; Schuh et al., 2014; Tan et al., 2016).</li><li>• Adaptabilidad de los empleados a la Industria 4.0 (Chryssolouris et al., 2013; Fettig et al., 2018; Gehrke y Rule, 2015; Lichtblau et al., 2015; Pinzone et al., 2017).</li><li>• Productos, servicios y fábrica inteligente (Ghobakhloo, 2018; Kagermann, 2015; Lee et al., 2014; Lichtblau et al., 2015; Schmidt et al., 2015; Shrouf et al., 2014; G. Wang et al., 2016; S. Wang et al., 2016; Y. Wang et al., 2017; Yang et al., 2017; Mont 2004, citado en Sony y Naik, 2019).</li></ul>
<p>Este protocolo tiene la intención de guiar la recolección de la información a través de los instrumentos de investigación seleccionados en la metodología propuesta para esta tesis. Los investigadores deben tomar en cuenta los lineamientos propuestos en el protocolo para poder validar la investigación.</p>

**Tabla 11: Protocolo de recolección de data (continuación)**

Sección B. Procedimientos para la recolección de información
<p>Los contactos principales para realizar el trabajo de campo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expertos de la Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones</li> <li>• Gerente General y Socios Comerciales</li> <li>• Gerente o encargado de Transformación Digital</li> <li>• Gerente de Manufactura y/u Operaciones</li> </ul> <p>Se espera encontrar con información que permita validar la relación y la relevancia de los factores críticos de la Industria 4.0 descritos en el marco teórico con las propias características del sujeto de estudio o con los proyectos que hayan implementados, tanto a nivel estratégico como operativo. Por este motivo, se obtendrá más información cualitativa a través de entrevistas: en primer lugar, a expertos de la Industria 4.0 y expertos del sector textil para validar los factores clave encontrados en la literatura; en segundo lugar, entrevistas al sujeto de estudio y a los actores de la cadena de suministro que permitan identificar las restricciones y oportunidades a partir del análisis de la información hallada después de la aplicación de la encuesta del modelo de preparación de Lichtblau et al. (2015) a los gerentes mencionados.</p>
Sección C. Preguntas del protocolo
<p>Contextualización de la Industria 4.0 y el sector sujeto de estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo definirías el concepto de Industria 4.0?</li> <li>• ¿Cuáles considera que son los principios clave de la Industria 4.0?</li> <li>• ¿Cómo las PyMES pueden iniciar el proceso de implementación de esta industria?</li> <li>• ¿Considera que el sector Textil-Confecciones podrá adaptarse a la Industria 4.0?</li> </ul> <p>Factores críticos para el proceso de implementación de la Industria 4.0</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles factores influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0 en una empresa?</li> <li>• ¿Considera importante que las empresas tomen en cuenta la estrategia organizacional, el nivel de digitalización de la organización, el grado de digitalización de la cadena de suministros, el nivel de adaptabilidad de los empleados y la capacidad de “inteligencia” de sus productos, servicios y fábrica, como factores que deben desarrollarse para estar preparadas ante los cambios que conllevará la Industria 4.0?</li> <li>• ¿Podría brindarnos ejemplos concretos de cómo su empresa está tomando en cuenta estos factores para implementar alguna tecnología de la Industria 4.0? ¿Podría describir la estrategia para desarrollar este proceso de implementación dentro de su área/organización?</li> </ul> <p>Proceso de implementación, restricciones y oportunidades para la definición de una ruta estratégica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir del nivel de preparación, ¿cuáles son las dimensiones que pueden resultar ser una oportunidad de mejora en el corto, mediano o largo plazo? ¿Qué acciones clave debería ejecutar?</li> <li>• ¿Cuáles son los principales retos que la organización ha tenido o tendrá en la implementación de la Industria 4.0?</li> <li>• ¿Cuáles son las principales acciones que se deben realizar para implementar los cambios que conlleva la Industria 4.0 e incrementar su nivel de preparación?</li> </ul>
Sección D. Esquema tentativo del reporte
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contextualización sobre la relevancia de la implementación de la Industria 4.0 en las empresas del sector Textil-Confecciones peruano</li> <li>• Validación de los factores críticos que influyen en el proceso de implementación de la Industria 4.0</li> <li>• Determinación del nivel de preparación del sujeto de estudio y detalles por dimensión evaluada</li> <li>• Descripción de los proyectos vinculados a la Industria 4.0 que han sido implementados por el sujeto de estudio referente del sector Textil-Confecciones</li> <li>• Acciones estratégicas para incrementar el nivel de preparación para el proceso de implementación de la Industria 4.0</li> <li>• Conclusiones</li> </ul>

## **ANEXO J: Guía de entrevista a expertos de Industria 4.0 (español)**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones - Polcyr SRL y Textil del Valle S.A.". La presente entrevista tiene como objetivo conocer y profundizar en los factores críticos de la Industria 4.0 y cómo estos pueden ser aplicados en una empresa peruana del sector Textil-Confecciones. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad.

Parte fundamental para que las organizaciones puedan alcanzar los objetivos que la Industria 4.0 requiere, es reconocer cuáles factores críticos son necesarios desarrollar para que una empresa se encuentre preparada ante los cambios de esta Industria y se asegure un desempeño competitivo exitoso futuro en una organización. Por este motivo, deseamos conocer su perspectiva sobre aquellos factores, planteados por diversos autores, que resultan vitales en este proceso de preparación para la implementación de la Industria 4.0.

### **Sección 1: Introducción al tema**

- ¿Cómo definirías el concepto de Industria 4.0?
- ¿Cuál considera que es la relevancia de la Industria 4.0 en el contexto peruano/país emergente?
- ¿Cuáles factores considera que son los más relevantes para el proceso de adaptación de la Industria 4.0 en una PyME peruana/país emergente?

En esta parte de la entrevista discutiremos sobre los cinco factores clave para que una organización pueda adaptarse a la Industria 4.0, los cuales son producto de una exhaustiva revisión bibliográfica. Para cada uno de los factores comentar si los considera relevantes y si también pudieran aplicarse a una mediana empresa en el Perú y/o país emergente.

### **Sección 2: Estrategia organizacional**

- ¿Cuáles deberían ser las etapas de una estrategia orientada a la adaptación de Industria.4.0 en las PyMES del Perú/país emergente? ¿Con cuáles áreas iniciarías?
- ¿Qué limitaciones podrían tener estas empresas al formular y ejecutar esta estrategia?

### **Sección 3: Nivel de digitalización de la organización**

- ¿Cómo definiría un entorno digitalizado de la Industria 4.0 en una PyME peruana/país emergente?

- ¿Qué obstáculos consideras que podría presentarse para digitalizar estas empresas?

#### **Sección 4: Grado de digitalización de la Cadena de Suministro**

- ¿Cómo esperaría que sea la cadena de suministros y la relación/comunicación entre proveedores, empresa y clientes de una PyME peruana/país emergente en un entorno 4.0?
- ¿Qué restricciones existen para digitalizar la cadena de suministros de las PyMES?

#### **Sección 5: Adaptabilidad de los empleados a la Industria 4.0**

- ¿Cuál considera que es el rol de los empleados dentro del proceso de transformación de las PyMES peruanas/países emergentes hacia la Industria 4.0?
- ¿Cuáles considera que son las principales competencias y habilidades que deberían desarrollar los empleados de una PyME de la Industria 4.0? (técnicas y blandas)

#### **Sección 6: Productos, servicios y fábrica inteligente**

##### **Definición de “inteligente”:**

El producto inteligente obtiene la capacidad de comunicarse con el entorno y obtener, recopilar, almacenar y transferir datos durante todo el ciclo de vida.

Los servicios inteligentes se refieren a la posibilidad de generar nuevos servicios en tiempo real analizando los datos obtenidos por parte de los productos y su uso.

Una fábrica inteligente es un entorno de producción en el que los sistemas de producción y los sistemas logísticos se organizan en gran medida sin intervención humana.

- ¿Qué potencial tienen el desarrollo de productos, servicios o fábricas inteligentes en las PyMES peruanas/países emergentes?
- ¿En qué industrias habría mayor posibilidad de presentarse estos productos/servicios?

##### **Preguntas generales:**

- ¿Cuáles considera que son los principales sectores en los cuales se va a evidenciar de manera más clara la transformación hacia la Industria 4.0? (de no mencionar el sector textil, preguntárselo)
- ¿Podría brindarnos algunos ejemplos de empresas que se encuentran implementando tecnología 4.0 dentro del Perú/países emergentes?

### **Preguntas vinculadas al análisis de modelos:**

- ¿Qué oportunidades existen a partir de la aplicación del modelo de Lichtblau et al. (2015) para el desarrollo de una estrategia de adaptación a la Industria 4.0 para las PyMES? ¿Cuáles son las acciones post-evaluación?
- ¿Cómo podríamos sacar lo mejor de cada modelo para poder suplir las desventajas del modelo de Impulse, el cuál hemos optado por utilizar debido a su disponibilidad del instrumento para evaluar?
- Sabemos que los modelos deben adaptarse a los requerimientos de las organizaciones, pero ¿existe la posibilidad de utilizar un modelo ya creado y a partir de un análisis en profundidad poder diseñar estrategias de mejora en cada dimensión evaluada?



## **ANEXO K: Guía de entrevista a expertos de Industria 4.0 (inglés)**

We are students of the Faculty of Management of the Pontifical Catholic University of Peru and we are currently completing our bachelor thesis called "Transformation 4.0 in the Textile - Clothing sector: Case Confecciones - Polcyr SRL and Textil del Valle SA". The objective of this interview is to extend our knowledge about the critical factors of Industry 4.0 and to know how this technology can be applied in a Peruvian company in the Textile – Clothing sector. The information collected in this interview will be used exclusively for academic purposes and it will be kept completely confidential.

To achieve the objectives that Industry 4.0 requires; an organization must be able to recognize which are the critical factors that it needs to develop in order to be prepared for the changes in this industry and to ensure future successful competitive performance. For this reason, we want to know your perspective on those factors, which were raised by various authors and are vital in the preparation process for adaptation to Industry 4.0.

### **Section 1: Introduction to the topic**

- How would you define with your own words the Industry 4.0 concept?
- What do you consider is the relevance of Industry 4.0 for SMEs?
- Which factors do you consider to be the most relevant for the process of adaptation to Industry 4.0 in an SME?

In this part of the interview, we will discuss the five key factors that an organization need to develop in order to adapt to Industry 4.0, which are the product of an exhaustive bibliographic review. For each of the factors, comment on whether you consider them relevant and whether they could also be applied to a medium-sized company.

### **Section 2: Organizational Strategy**

- What should be the stages of a strategy oriented to the adaptation of Industry 4.0 in SMEs? Which areas would you start with?
- What limitations could an SME have when formulating and executing this strategy?

### **Section 3: Digitization level of the organization**

- How would you define a digitalized Industry 4.0 environment in an SME?
- What obstacles do you think could arise to digitize these companies?

#### **Section 4: Digitization level of the Supply Chain**

- How would you expect the supply chain and relationship/communication between suppliers, company and customers of an SME to be like in a 4.0 environment?
- What restrictions exist to digitize the SME supply chain?

#### **Section 5: Employee Adaptability to Industry 4.0**

- What do you consider to be the role of employees within the transformation process of SMEs towards Industry 4.0?
- What do you consider to be the main competencies and skills that should be developed by the employees of an Industry 4.0 SME? (technical and soft)

#### **Section 6: Products, Services and Smart Factory**

*“Smart” definition:*

The smart product gains the ability to communicate with the environment and obtain, collect, store, and transfer data throughout its life cycle.

Smart services refer to the possibility of generating new services in real-time by analyzing the data obtained by the products and their use.

A smart factory is a production environment in which production and logistics are largely organized without human intervention.

- What potential does the development of smart products, services or factories have in SMEs?
- In which industries would there be a greater possibility of presenting these smart products/services?

#### **Questions linked to model analysis:**

- What opportunities exist de the application of the Lichtblau et al. (2015) model for the development of an adaptation strategy to Industry 4.0 for SMEs? What are the post-evaluation actions?
- How could we get the best out of each model to be able to supply the disadvantages of the Impulse model, which we have chosen due to its availability of the evaluation instrument (questionnaire)?

- We know that the models must be adapted to the requirements of the organizations, but is there the possibility of using an already created model and, de an in-depth analysis, being able to design improvement strategies in each dimension evaluated?



## **ANEXO L: Guía de entrevista a expertos del sector Textil-Confecciones**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones - Polcyr SRL and Textil del Valle". La presente entrevista tiene como objetivo conocer y profundizar sobre cuáles son las características que una empresa del sector Textil – Confecciones del Perú debe tener para estar preparada para la Industria 4.0. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad.

### **Sección 1: Introducción al tema**

- ¿Cómo describiría las características del sector Textil-Confecciones en el Perú?
- ¿Cuáles considera que son las principales necesidades de las PyMES del sector T – C peruano en la actualidad?
- ¿Cuáles factores considera que son los más relevantes para el proceso de adaptación a la tecnología en una PyME peruana del sector Textil-Confecciones?

En esta parte de la entrevista discutiremos sobre los cinco factores clave para que una organización pueda adaptarse a la Industria 4.0, los cuales son producto de una exhaustiva revisión bibliográfica. Para cada uno de los factores comentar si los considera relevantes para el sector Textil – Confecciones y si pueden aplicarse a una PyME peruana.

### **Sección 2: Estrategia organizacional**

- ¿Usted considera que las empresas textiles en el Perú están incorporando los retos o cambios tecnológicos globales?
- ¿Cómo describiría una estrategia de transformación digital en las empresas del sector Textil-Confecciones peruano?

### **Sección 3: Nivel de digitalización de la organización**

- ¿Considera usted que las empresas dentro del sector presentan cierto nivel de digitalización? ¿Por qué?
- ¿Cuáles son los principales elementos para tener en consideración para que una empresa del sector T-C pueda digitalizar su organización?

### **Sección 4: Grado de digitalización de la Cadena de Suministro**

- ¿Es posible digitalizar la cadena de suministros de las empresas del sector T-C en el Perú? ¿Qué barreras podrían presentarse?

- ¿Cuáles son las tecnologías más utilizadas en la cadena de suministros de las empresas del sector Textil-Confecciones peruano? ¿En las PyMES?

#### **Sección 5: Adaptabilidad de los empleados a la Industria 4.0**

- ¿Usted considera que los empleados que trabajan dentro del sector podrían adaptarse a los cambios tecnológicos de la empresa?
- ¿Qué habilidades técnicas y blandas de los empleados son las más requeridas actualmente por las empresas del sector T-C?

#### **Sección 6: Productos, servicios y fábrica inteligente**

- ¿Qué tan digitalizable son los productos y/o servicios del sector? ¿y en el Perú?
- ¿Considera necesario o relevante digitalizar los productos tomando en cuenta las características del sector peruano?

#### **Preguntas generales**

- ¿Cuáles son los principales retos que afronta el sector ante la transformación digital?  
¿Cuáles serían los retos para las PyMEs?
- ¿Conoce ejemplos de empresas dentro del sector que apliquen tecnología 4.0?

## **ANEXO M: Guía de entrevista para benchmark de Industria 4.0 en el sector Textil-Confecciones**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones - Polcyr SRL y Textil del Valle SA". La presente entrevista tiene como objetivo conocer y profundizar sobre cómo una empresa del sector Textil – Confecciones del Perú puede implementar los diferentes procesos y tecnologías de la Industria 4.0. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad.

### **Sección 1: Introducción al área de la empresa**

- Podría detallarnos cómo se estructura su área; es decir, ¿con cuánto personal cuenta? ¿con cuánta maquinaria? ¿cuáles son sus divisiones/subáreas?
- ¿Cuáles son las operaciones que se realizan actualmente en su área?
- ¿Qué indicadores utilizan para monitorear el desempeño en dichas operaciones o dentro del área?
- ¿Cuáles consideras que son los factores críticos que se deben tomar en la industria textil o específicamente en tu área?

### **Sección 2: Estrategia de implementación**

- ¿Qué viene a tu mente con respecto a Industria 4.0?
- ¿Cómo realizaba sus operaciones antes del proceso de transformación digital en su organización?
- ¿Cómo se dio cuenta de la nueva tecnología y cuál fue la principal motivación para adoptar la nueva tecnología?
- ¿Podría explicarnos cuál fue la estrategia que optó para transformar esas operaciones?
- ¿Utilizó la ayuda de consultores externos en el proceso?

### **Sección 3: Proceso de implementación de iniciativas de Industria 4.0**

- ¿Cuáles son las soluciones que decidió implementar en su área?
- ¿Por qué la solución que implementó fue la opción más factible?
- ¿Cómo esta implementación permitió incrementar la digitalización y el análisis de datos en las operaciones mencionadas?
- ¿Podría explicar los aspectos técnicos de la adopción de la nueva tecnología?
- ¿Cuáles fueron los principales obstáculos (técnicos/gerenciales) en el proceso de adopción? ¿Cómo los superaste?

#### **Sección 4: Beneficios y visión a futuro**

- ¿Cómo se ha visto afectado su modelo de negocio y cadena de valor debido a la adopción de nuevas tecnologías?
- ¿Cuáles fueron los principales beneficios del proceso observado hasta ahora? ¿Qué tipo de mejoras has podido observar?
- ¿Está considerando la implementación de otras soluciones tecnológicas? ¿Qué dificultades podrían enfrentar si deciden implementarlas?



## **ANEXO N: Guía de entrevista para proveedores de sujetos de estudio**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones Polcyr SRL y Textil del Valle S.A.". La presente entrevista tiene como objetivo conocer de manera más detallada las características de los actores que forman parte de la cadena de suministro de una empresa del sector Textil-Confecciones. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad.

### **Sección 1: Introducción a la empresa**

- ¿Podría presentarse y comentar su experiencia en el sector?
- ¿Cuáles son las características de la empresa (giro de negocio, misión/visión, tamaño, estructura organizacional, productos, servicios, mercado objetivo, experiencia, proveedores y clientes)?
- ¿Cuáles son sus procesos operativos más importantes?

### **Sección 2: Nivel de digitalización de la organización**

- ¿Qué viene a tu mente con respecto a Industria 4.0?
- ¿Cuál es el grado de avance tecnológico que tienen en cuestión de maquinaria, softwares de gestión de procesos, digitalización de información?
- ¿Podría comentar sus avances en conectividad de dispositivos (sensorización, transmisión de datos)?

### **Sección 3: Relación con sujeto de estudio y grado de digitalización de la cadena de suministros**

- ¿Cuál es la relación comercial que mantiene con Textil del Valle S.A. / Confecciones Polcyr S.R.L. (tiempo de relación, porcentaje de ingresos, productos/servicios brindados)?
- ¿Podría describir su proceso de entrega de productos/servicios con Textil del Valle S.A. / Confecciones Polcyr S.R.L.? ¿existe algún sistema de control digital compartido?
- ¿Cuáles son los requerimientos para poder trabajar con Textil del Valle S.A. / Confecciones Polcyr S.R.L.?

- ¿Cómo describiría el flujo de información con Textil del Valle S.A. / Confecciones Polcyr S.R.L? ¿Utilizan alguna plataforma digital en conjunto?
- ¿Comparte objetivos con Textil del Valle S.A. / Confecciones Polcyr S.R.L? ¿Cuáles son y cómo se evidencian?

#### **Sección 4: Características del sector Textil - Confecciones**

- ¿Cómo ha visto la evolución del sector textil en los últimos años?
- ¿Cuáles son los principales retos de las empresas del sector textil con las que ha trabajado?
- ¿Cuáles considera que son los factores críticos en el proceso de transformación digital de una empresa del sector textil?



## **ANEXO Ñ: Guía de entrevista a Gerencia de Confecciones Polcyr S.R.L.**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.". La presente entrevista tiene como objetivo conocer y profundizar sobre las características, procesos y nivel de avance tecnológico de una mediana empresa del sector Textil – Confecciones del Perú para que pueda iniciar el proceso de implementación de los diferentes procesos y tecnologías de la Industria 4.0. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad

### **Sección 1: Introducción general de la empresa**

- ¿Cuáles son los lineamientos estratégicos, los objetivos y el modelo de negocio de la organización?
- Podría detallarnos cómo se estructura su empresa; es decir,
  - ¿Con cuántas plantas, locales y/o talleres cuenta?
  - ¿Cómo se conforman las diferentes áreas? ¿Cuáles son sus divisiones/subáreas?
  - ¿Con cuanto personal cuenta en general y por área?
- ¿Cuánto es el monto de facturación anual y el margen de la empresa? ¿Utilizan fuentes de financiamiento?

### **Sección 2: Descripción de áreas de producción, operaciones y comercial de la empresa**

- ¿Cuáles son las operaciones clave y cómo se realizan actualmente en su empresa?
- ¿Qué indicadores utilizan para monitorear el desempeño en dichas operaciones?
- ¿Qué tipo de maquinaria y con cuánta cuenta por cada una de sus plantas / áreas?
- ¿Cuánta es la producción diaria de su empresa (segmentar por plantas)?
- ¿Cuáles son sus principales clientes y cómo se relaciona comercialmente con ellos?
- ¿Cuáles son sus principales proveedores? ¿Cómo se relaciona con ellos?

### **Sección 3: Nivel de digitalización de la organización**

- ¿Existe alguna implementación de sistemas de control de recursos, manufactura u otros similares en la empresa?
- ¿Cuál es el nivel de avance con respecto a la digitalización y análisis de la información que se genera en sus procesos y/o maquinaria?
- ¿Está proyectando integrar nueva tecnología en su empresa?

## **ANEXO O: Guía de validación de nivel de preparación de Industria**

### **4.0**

Somos estudiantes de la carrera profesional de Gestión y Alta Dirección de la PUCP y nos encontramos realizando nuestra tesis de licenciatura, la cual tiene por título "Transformación 4.0 en el sector Textil - Confecciones: Caso Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A.". La presente entrevista tiene como objetivo conocer y profundizar sobre el nivel de preparación de una empresa del sector Textil – Confecciones del Perú para que pueda iniciar el proceso de implementación de los diferentes procesos y tecnologías de la Industria 4.0. La información recogida en esta entrevista será utilizada exclusivamente con fines académicos, razón por la cual, se mantendrá en total confidencialidad.

#### **Sección 1: Nivel de preparación tecnológica en la organización**

- ¿Ha diseñado y/o implementado alguna estrategia vinculada a la Industria 4.0?
  - ¿Cuáles son los objetivos y cómo monitorea su avance?
- ¿En cuáles áreas de la empresa ha invertido en la implementación de tecnología? ¿cómo ha sido el proceso de implementarlas?
- ¿Existe alguna implementación de sistemas de control de recursos, manufactura u otros similares en la empresa? Sí es afirmativo, ¿ha logrado integrar estos sistemas?
- ¿La organización cuenta con empleados capacitados en las competencias requeridas para la Industria 4.0?

#### **Sección 2: Nivel de avance en digitalización de la información**

- Con respecto a la información, ¿cómo se lleva a cabo la recopilación y análisis de la información que se genera en sus procesos y/o maquinaria?
- ¿La información que recolecta puede intercambiarse internamente entre áreas y/o con los diversos actores que conforman su cadena de suministros?
- ¿Ha llevado alguna integración de los sistemas que recopilan dicha información? ¿Para controlar el avance tecnológico en su organización, ha optado por desarrollar soluciones de seguridad de TI?

#### **Sección 3: Planeamiento y visión a futuro**

- ¿Qué objetivos está planteando para la empresa con respecto a mejoras en tecnología vinculada a la Industria 4.0?
- ¿Está considerando la implementación de otras soluciones tecnológicas? ¿Qué dificultades podrían enfrentar si deciden implementarlas?

- ¿Cuáles serían las acciones inmediatas que podría realizar para incrementar tu nivel de preparación para la Industria 4.0?



## **ANEXO P: Cuestionario de modelo de preparación de Lichtblau et al. (2015)**

### **Preguntas Generales sobre su empresa**

Para ayudarnos a relacionar su empresa con un grupo de comparación, primero necesitamos información sobre la industria en la que opera y el tamaño de su empresa.

#### **1. ¿Qué categoría describe mejor a su empresa?**

- Ingeniería Mecánica
- Manufactura

#### **2. Por favor, calcule el tamaño de la fuerza laboral de su empresa**

- Hasta 19 empleados
- 20 a 99 empleados
- 100 a 249 empleados
- 250 a 499 empleados
- 500 o más empleados

#### **3. Por favor, estime sus ingresos en el 2019**

- Menos de un 1 millón de soles
- De 10 a 50 millones de soles
- De 50 a 100 millones de soles
- De 100 a 250 millones de soles
- De 250 a 500 millones de soles
- De 500 millones a más
- No especificado

### **Estrategia y organización**

Industria 4.0 es más que solo mejorar los productos o procesos existentes mediante el uso de tecnologías digitales: en realidad ofrece la oportunidad de desarrollar modelos de negocio completamente nuevos. Por esta razón, su implementación es de gran importancia estratégica.

#### **4. ¿Cómo describiría el grado de implementación de la estrategia 4.0?**

- No existe estrategia
- Iniciativas piloto lanzadas
- Estrategia en desarrollo
- Estrategia formulada

- Estrategia en implementación
- Estrategia implementada

**5. ¿Utiliza indicadores para rastrear el estado de implementación de su estrategia en Industria 4.0?**

- Sí, tenemos un sistema de indicadores que consideramos apropiado.
- Sí, tenemos un sistema de indicadores que nos brinda una orientación
- No, nuestro enfoque no está claramente definido

**6. ¿Qué tecnologías utilizas en tu empresa?**

- Tecnología de sensores
- Dispositivos móviles
- Identificación de radiofrecuencia (es almacenamiento y recopilación remoto por radiofrecuencia)
- Sistemas de localización en tiempo real
- Big data para almacenar y evaluar datos en tiempo real
- Tecnologías en la nube como infraestructura de IT escalable
- Sistemas de IT integrados
- Comunicación máquina a máquina

**7. ¿En qué partes de su empresa ha invertido en cuanto a la implementación de la Industria 4.0 durante los últimos años, y cuáles son sus planes para futuro?**

	Inversión en los 2 últimos años				Inversión en los siguientes 5 años			
	Grande	Mediana	Pequeña	Ninguna	Grande	Mediana	Pequeña	Ninguna
Investigación y desarrollo								
Producción / Fabricación								
Compras								
Logística								
Ventas								
Servicio								
IT								

**8. En qué áreas de su empresa cuenta con una gestión sistemática de tecnología e innovación?**

- TI
- Producción tecnológica

- Desarrollo de producto
- Servicios
- Centralizado en gestión integradora
- No tiene

### Fábrica Inteligente

Una fábrica inteligente es un entorno de producción en el que los sistemas de producción y los sistemas logísticos se organizan en gran medida sin intervención humana. La fábrica inteligente se organiza en sistemas ciberfísicos (CPS), que vincula los mundos físico y virtual mediante la comunicación a través de una infraestructura de IT, el Internet de las Cosas.

La Industria 4.0 también implica el modelado digital a través de la recolección inteligente, el almacenamiento y el procesamiento de datos. De esta manera, el concepto de fábrica inteligente garantiza que se entregue la información y que los recursos se utilicen de manera más eficiente. Esto requiere la colaboración en tiempo real de la empresa entre sistemas de producción, información y personas.

#### Infraestructura de equipamiento

#### 9. ¿Cómo evaluaría la infraestructura de su equipo cuando se trata de las siguientes funcionalidades?

	No disponible	Sí, hasta cierto punto	Sí, completamente
Las máquinas/sistemas se pueden controlar a través de IT			
Comunicaciones de máquina a máquina			
Interoperabilidad: integración y colaboración con otras máquinas/sistemas posibles			

#### 10. ¿Cómo evaluaría la adaptabilidad de la infraestructura de su equipo cuando se trata de las siguientes funcionalidades?

	No relevante	Relevante, pero no actualizable	Actualizable	Alta, porque la funcionalidad ya está disponible
Comunicación máquina a máquina				
Interoperabilidad: integración y colaboración con otras máquinas/sistemas posibles				

Modelo digital de fábrica

**11. La digitalización de las fábricas permite crear un modelo digital de la fábrica. ¿Ya está recopilando datos de máquinas y procesos durante la producción?**

- Sí, ambos
- Sí, solo uno
- No

**12. ¿Qué datos sobre maquinaria, procesos y productos, así como el mal funcionamiento y sus causas, se recopilan durante la producción y cómo se recopilan?**

	SÍ, manualmente	SÍ, automático	No
Datos de inventario			
Tiempos de producción			
Utilización de la capacidad del equipo			
Residuos de producción			
Cuota de error			
Utilización de empleados			
Datos de posicionamiento			
Datos sobre el procesamiento restante			
Tiempos de transición			
Eficacia general del equipo (OEE)			
Otro			

**13. ¿Cómo se utiliza los datos que recopila?**

- Mantenimiento predictivo
- Optimización de tiempos logísticos y producción
- Creación de transparencia en todo el proceso de producción
- Gestión de la calidad
- Control automático de producción mediante el uso de datos en tiempo real
- Optimización del consumo de recursos (material, energía)
- Otro:

**14. ¿Cuál de los siguientes sistemas emplea? ¿El sistema tiene una interfaz en el sistema líder?**

	En uso		Interfaz con el sistema líder	
	SÍ	No	SÍ	No
MES – manufacturing execution system				
ERP – enterprise resource planning				

PLM – product lifecycle management				
PDM – product data management				
PPS – production planning system				
PDA – production data acquisition				
MDC – machine data collection				
CAD – computer-aided design				
SCM – supply chain management				

### Operaciones inteligentes

Una característica distintiva de la Industria 4.0 es la integración empresarial y entre empresas de los mundos físico y virtual. El advenimiento de la digitalización y la gran cantidad de datos que ha aportado a la producción y la logística han permitido introducir lo que en algunos casos son formas y enfoques completamente nuevos para los sistemas de planificación de la producción (PPS) y la gestión de la cadena de suministro (SCM). Los requisitos técnicos en la producción y la planificación de la producción necesarios para realizar la pieza de autocontrol se conocen como operaciones inteligentes.

#### Integración vertical y horizontal

#### 15. ¿Dónde ha integrado el intercambio de información entre departamentos en su sistema?

Distinga entre el intercambio de información en toda la empresa (interna) y entre empresas (externa).

	Interno entre departamentos		Externo con los clientes y / o proveedores	
	SÍ	No	SÍ	No
Investigación y desarrollo				
Producción / Fabricación				
Compras				
Logística				
Ventas				
Servicio				
TI				
Contabilidad Financiera				
En ninguna parte				

#### Control distribuido

16. La visión de Industria 4.0 es que las piezas de trabajo se guíen autónomamente a través de la producción. ¿Su empresa ya tiene casos de uso en los que la pieza de trabajo se guía de forma autónoma a través de la producción?

- Sí, entre empresas
- Sí, pero solo en áreas seleccionadas
- Sí, pero solo en la fase de prueba y piloto.
- No

**17. ¿Tiene su empresa procesos de producción que respondan de manera autónoma / automática en tiempo real a los cambios en las condiciones de producción?**

- Sí, entre empresas
- Sí, pero solo en áreas seleccionadas
- Sí, pero solo en la fase de prueba y piloto
- No

Seguridad de datos y comunicaciones

**18. ¿Cómo se organiza su IT?**

- Sin departamento de TI interno (se utiliza el proveedor de servicios)
- Departamento central de TI
- Departamentos locales de TI en cada área (producción, desarrollo de productos, etc.)
- Expertos en TI adscritos a cada departamento

**19. ¿Qué tan avanzado está con sus soluciones de seguridad de TI?**

	Solución implementada	Solución en progreso	Solución planificada	No relevante
Seguridad en el almacenamiento interno de datos				
Seguridad de datos a través de servicios en la nube				
Seguridad de las comunicaciones para el intercambio interno de datos.				
Seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos con socios comerciales				

**20. ¿Ya estás usando servicios de la nube?**

	Sí	No, pero lo estamos planeando	No
Software basado en la nube			
Para el análisis de datos			
Para el almacenamiento de datos			

## Productos inteligentes

Los productos inteligentes son un componente vital de un concepto unificado de "fábrica inteligente" que facilita la producción automatizada, flexible y eficiente. Los productos físicos están equipados con componentes de TIC (sensores, RFID, interfaz de comunicaciones, etc.) para recopilar datos sobre su entorno y su propio estado. Solo cuando los productos recopilan datos, conocen su camino a través de la producción y se comunican con los sistemas de nivel superior, se pueden mejorar y guiar los procesos de producción de forma autónoma y en tiempo real. También es posible monitorear y optimizar el estado de los productos individuales; por lo tanto, esto tiene aplicaciones potenciales más allá de la producción sola. Por ejemplo, el uso de productos inteligentes durante la fase de uso hace posibles nuevos servicios a través de las comunicaciones entre clientes y fabricantes, por ejemplo.

### 21. ¿Su empresa ofrece productos equipados con las siguientes funcionalidades adicionales basadas en tecnología de información y comunicaciones?

Funcionalidades adicionales TIC	SÍ	No
Memoria del producto		
Autoinforme		
Integración		
Localización		
Sistemas de asistencia		
Supervisión		
Información del objeto		
Identificación automática		

### 22. ¿Analiza los datos que recopila de la fase de uso?

- Sí
- No, recopilamos los datos, pero no los analizamos (pasar a pregunta 24)
- No, no recopilamos datos en la fase de uso (pasar a pregunta 24)

### 23. ¿Con qué propósito analiza los datos que recopila de la fase de uso?

- Desarrollo de producto
- Soporte de ventas
- Post-venta (telemantenimiento)
- Otros:

## Servicios basados en datos.

El objetivo de los servicios basados en datos es alinear los modelos de negocio futuros y mejorar el beneficio para el cliente. El negocio de postventa y servicios se basará cada vez más en la

evaluación y análisis de los datos recopilados y se basará en la integración de toda la empresa. Los productos físicos en sí deben estar equipados con TI física para que puedan enviar, recibir o procesar la información necesaria para los procesos operativos. Esto significa que tienen un componente físico y digital, que a su vez son la base de los servicios digitalizados en la fase de uso de los productos.

#### Servicios basados en datos

**24. La data generada en el proceso y en la fase de uso permiten nuevos servicios. ¿Ofrecen tales servicios?**

- Sí, y estamos integrados con nuestros clientes.
- Sí, pero sin integración con nuestros clientes.
- No (pasar directamente a la pregunta 27)

**25. ¿Qué parte de sus ingresos proviene de estos nuevos servicios basados en datos?**

- Participación de los ingresos (en porcentaje):

**26. A menudo, los datos que se recopilan solo se almacenan y luego no se usan más. ¿Qué parte de los datos que recopila ya está usando?**

- 0%
- 0% a 20%
- 21% a 50%
- Más de 50%

#### **Empleados**

Los empleados ayudan a las empresas a darse cuenta de su transformación digital y son los más afectados por los cambios en el lugar de trabajo digital. Al modificarse su entorno de trabajo directo, requieren adquirir nuevas habilidades y competencias. Esto hace que sea cada vez más crítico que las compañías preparen a sus empleados para estos cambios a través de la capacitación adecuada y la educación continua.

**27. ¿Cómo evalúa las habilidades de sus empleados cuando se trata de los requisitos futuros de la Industria 4.0?**

	Irrelevante	Inexistente	Existente, pero inadecuado	Adecuado
Infraestructura adecuada de TI				
Tecnología de automatización				
Análisis de datos				

Seguridad de datos/ seguridad de comunicaciones				
Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.				
Software de colaboración				
Habilidades no técnicas como el pensamiento sistémico y la comprensión del proceso.				

**28. ¿Está realizando esfuerzos para adquirir las habilidades que faltan a través de seminarios de capacitación, sistemas de transferencia de conocimiento, coaching, entre otros?**

- Sí
- No



## ANEXO Q: Codificación y categorización de información cualitativa

Tabla Q1: Marco de Codificación de Entrevistas a Expertos de Industria 4.0

Categoría	Código	Definición
Estrategia Organizacional	Diagnóstico	Referido al diagnóstico inicial que debe realizar una empresa para conocer su estatus con respecto a los requerimientos de la Industria 4.0.
	Visión personalizada de Industria 4.0	Referido a la visión que debe desarrollar la organización que adecúe las perspectivas futuras de esta revolución industrial.
	Proyectos específicos de Industria 4.0	Referido a las acciones específicas que plantean las organizaciones como parte de su estrategia organizacional. Son los planes de acción, la materialización de las ideas.
	Asociación con otras organizaciones	Referido a la necesidad de contar con socios durante el proceso de transformación hacia la Industria 4.0 y no desarrollar una estrategia de manera aislada.
	Inversión Financiera	Referido a la importancia que tiene la inversión financiera en el desarrollo de Industria 4.0 y la necesidad de destinar recursos económicos para el proceso de transformación.
Nivel de Digitalización de la Organización	Digitalización de la Información	Referido al proceso de transformar la información a un formato digital para que pueda ser almacenada, consultada y analizada durante las actividades.
	Digitalización de elementos clave	Referido a la inclusión de tecnología en aspectos esenciales de la organización para agilizar actividades.
	Conectividad de dispositivos	Referido al equipamiento y conexión de dispositivos que capturan información que es utilizada por los sistemas de producción y, eventualmente, permite tomar decisiones.
	Conexión entre sistemas de información	Referido a la integración e interacción entre los sistemas de la organización que permiten coordinar, controlar y monitorear las operaciones en tiempo real.
Grado de Digitalización de la Cadena de Suministros	Transparencia de información	Referido a la transversalidad y sistematización de cómo los actores de toda la cadena de suministros comparten la información clave y alinean sus objetivos.
	Integración vertical y horizontal	Referido a cómo se conectan los sistemas de planificación de recursos y producción entre las áreas de la empresa y entre proveedores-empresa-clientes.
	Proveedores de tecnología para digitalizar	Referido a la necesidad de contar con un conjunto de proveedores que permita integrar la tecnología para digitalizar la cadena de suministros.
	Comunicación entre actores	Referido a la transformación del mapa de colaboración y comunicación entre proveedores-empresa-clientes.

**Tabla Q1: Marco de Codificación de Entrevistas a Expertos de Industria 4.0 (continuación)**

<b>Categoría</b>	<b>Código</b>	<b>Definición</b>
Adaptabilidad de los Empleados	Reasignación de puestos y empleados	Referido a las nuevas competencias y habilidades que requieren tener los empleados que forman parte de la Industria 4.0 (incluye competencias técnicas y blandas).
	Adaptación a nuevas formas de trabajar	Referido a los cambios en el modelo de trabajo de los empleados y las empresas debido a los requerimientos y características de la Industria 4.0.
	Nuevas habilidades y competencias	Referido a la necesidad de adquirir nuevos trabajadores como parte del proceso de cambio digital a la Industria 4.0; así como a la recolocación de empleados en distintos puestos.
Productos, Servicios y Fábrica Inteligente	Nuevo alcance y oportunidades	Referido a cómo esta “inteligencia” implica un cambio en el modelo de negocio de la organización, ya sea a nivel de procesos, productos y/o servicios que les permite ampliar su mercado.
	Beneficios	Referido a los beneficios que genera la adopción de Productos, Servicios y Fábrica Inteligente en las organizaciones.
Liderazgo y Compromiso	Pérdida de miedo	Referido a la concientización y a la visión de las oportunidades que conllevan invertir en la implementación de la Industria 4.0 dentro de los procesos de la organización.
	Compromiso de gerencia	Referido al involucramiento y soporte los líderes/gerentes para el despliegue de todos los procesos de transformación/implementación de la Industria 4.0.

## ANEXO R: Criterios para medir nivel de preparación por dimensión

Tabla R1: Requerimientos mínimos para dimensión de Estrategia y Organización

Dimensión	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Grado de implementación de estrategia	La I4.0 no es parte del proceso estratégico	La I4.0 es un problema departamental pero no está integrado en la estrategia	I4.0 es parte del proceso estratégico, la estrategia se está desarrollando	Una estrategia 4.0 se ha definido	Una estrategia 4.0 está en implementación	Una estrategia 4.0 se ha implementado en toda la empresa
Definición de indicadores	No existen indicadores para determinar el estatus de la implementación de la I4.0	No existen indicadores para determinar el estatus de la implementación de la I4.0	Un sistema de indicadores está en su lugar que da un sentido del estado de implementación	Un sistema de indicadores está en su lugar que da un sentido del estado de implementación	Un sistema de indicadores está en su lugar que da un sentido del estado de implementación	Un sistema de indicadores está en su lugar e integrado en el proceso estratégico
Inversiones	No hay inversión para la I4.0	Inversión para la I4.0 en un área	Niveles bajos de inversión en la I4.0	Inversión en la I4.0 en algunas áreas	Inversión en la I4.0 en varias áreas	Inversión en la I4.0 en toda la empresa
Gestión de la innovación	No hay Gestión de la Innovación	No hay Gestión de la Innovación	No hay Gestión de la Innovación	Gestión de la Innovación en áreas aisladas	Gestión de la Innovación implementada en varios departamentos	Gestión de la Innovación establecida Uniforme e interdepartamentalmente

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

**Tabla R2: Requerimientos mínimos para dimensión de Fábrica Inteligente**

Dimensión	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Infraestructura de equipos (Actual)	Máquinas y la infraestructura del sistema no pueden ser controlados a través de TI, sin integración comunicación máquina a máquina M2M	Algunas máquinas pueden ser controladas a través de TI, son interoperables, o tienen capacidad M2M	Máquinas y la infraestructura del sistema pueden ser controlados en alguna medida a través de TI, es interoperable o integrado	Máquinas y la infraestructura del sistema pueden ser controlados a través de TI y está parcialmente integrado	La maquinaria puede ser controlada completamente a través de TI, esta parcialmente integrado (M2M) o interoperable	Las máquinas y los sistemas pueden ser controlados casi completamente a través de TI y están totalmente integradas (M2M)
Infraestructura de equipos (Objetivo)	Las máquinas y los sistemas no pueden ser actualizados	Futuros requerimientos para máquinas y sistemas son importantes	Algunas máquinas y sistemas pueden ser actualizados	Todas las máquinas y sistemas pueden ser actualizados	Las máquinas ya han alcanzado alguno de los requerimientos o pueden ser actualizados	Las máquinas y los sistemas ya alcanzaron los requerimientos futuros
Modelado digital	Sin modelado digital	Sin modelado digital	Algún modelado digital	Algún modelado digital	Algún modelado digital	Modelado digital completo
Recolección de data	Datos no recolectados	Datos no recolectados	La data es recolectada pero manualmente en mayor medida	La data relevante es recolectada digitalmente en ciertas áreas	Exhaustiva recogida de datos digitales en múltiples áreas	Recogida digital automatizada de los datos en todas las áreas
Uso de data	No hay datos disponibles para usar	No hay datos disponibles para usar	Data es utilizada para propósitos específicos (mayor transparencia, entre otros)	Alguna data es usada para optimizar procesos (mantenimiento predictivo, entre otros.)	Datos utilizados para optimizar procesos en varias áreas	Datos utilizados para una exhaustiva optimización de procesos
Sistemas TI	Sin soporte a través de sistemas de TI	Principales procesos de negocio apoyado por los sistemas de TI	Algunas áreas de la empresa son apoyadas por los sistemas de TI y están integrados	Algunas áreas de la empresa son apoyadas por los sistemas de TI y están integrados entre ellos	Completo soporte de TI a los procesos, integración completa	Sistemas TI dan soporte a todos los procesos de la empresa y están integrados

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

**Tabla R3: Requerimientos mínimos para dimensión de Operaciones Inteligentes**

Dimensión	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Sistema integrado de intercambio de información	No hay sistema integrado de intercambio de información	Principios de la economía, sistema integrado de intercambio de información	Sistema de intercambio de información parcialmente integrado	Algún avance en el sistema de intercambio de información interno y principios de los sistemas integrados externos	Sistema integrado de intercambio de información predominantemente interno y parcialmente externo	Sistema integrado de intercambio de información interno y parcialmente externo
Guiado autónomo de piezas de trabajo	Guiado autónomo de piezas de trabajo no está en uso	Guiado autónomo de piezas de trabajo no está en uso	Guiado autónomo de piezas de trabajo no está en uso	Guiado autónomo de piezas de trabajo no está en uso	Experimentos en fase de prueba y piloto	Utilizado en áreas seleccionadas o hasta entre empresas
Procesos autorreactivos	Procesos autorreactivos no están en uso	Procesos autorreactivos no están en uso	Procesos autorreactivos no están en uso	Procesos autorreactivos no están en uso	Experimentos en fase de prueba y piloto	Utilizado en diversas áreas o incluso entre empresas
Seguridad de TI	No hay soluciones de seguridad de TI en desarrollo o implementación	Soluciones de seguridad de TI iniciales planificadas	Múltiples soluciones de seguridad de TI planificadas o están en desarrollo	Las soluciones de seguridad de TI han sido parcialmente implementadas	Soluciones de seguridad TI han sido implementados, las brechas están cerrándose	Las soluciones de seguridad de TI han sido implementadas para todas las áreas relevantes
Uso de la nube	Soluciones de nube no están en uso	Soluciones de nube no están en uso	Soluciones de nube no están en uso	Soluciones iniciales planificadas para software basado en la nube, almacenamiento de datos, y análisis de datos	Soluciones iniciales implementadas	Múltiples soluciones implementadas

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

**Tabla R4: Requerimientos mínimos para dimensión de Productos Inteligentes**

Dimensión	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Complementos de funcionalidades TIC <sup>13</sup>	No hay complementos de funcionalidades	Los productos muestran primeros signos de complementos	Productos con características iniciales de tener complementos de funcionalidades	Productos muestran múltiples e interrelacionados complementos y funcionalidades	Productos muestran los complementos de funcionalidades en diferentes áreas	Productos muestran todos los complementos de funcionalidades
Uso de data <sup>14</sup>	Sin datos recopilados	Sin datos recopilados	Datos recopilados, pero no analizados/utilizados	Datos analizados / utilizados	Datos analizados / utilizados	Datos analizados / utilizados

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

**Tabla R5: Requerimientos mínimos para dimensión de Servicios basados en datos**

Dimensión	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Servicios basados en datos	No se ofrecen servicios basados en datos	Servicios basados en datos se ofrecen, pero sin integración con el cliente	Servicios basados en datos se ofrecen, pero sin integración con el cliente	Servicios basados en datos se ofrecen, pero sin integración con el cliente	Servicios basados en datos se ofrecen con integración con el cliente	Servicios basados en datos completamente integrados en el modelo de negocio (integración con los clientes)
Participación en los ingresos	No tiene participación de ingresos	Servicios basados en datos cuenta con una participación inicial en los ingresos (<1%)	Servicios basados en datos cuenta con una participación inicial en los ingresos (<2.5%)	Servicios basados en datos cuenta con una participación inicial en los ingresos (<7.5%)	La participación en los ingresos es significativa (<10%)	Servicios basados en datos juegan un rol importante en los ingresos (>10%)
Nivel de uso de datos	Datos no utilizados	Datos no utilizados	0-20% de la data recolectada es usada	20-50% de la data recolectada es usada	20-50% de la data recolectada es usada	Más del 50% de la data recolectada es usada

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)

<sup>13</sup> Memoria del producto, autoinforme, integración, localización, sistemas de asistencia, monitoreo, información de objetos o identificación automática.

<sup>14</sup> Uso de datos para el desarrollo de productos, soporte de ventas, postventa (como tele mantenimiento).

**Tabla R6: Requerimientos mínimos para dimensión de Empleados**

<b>Dimensión</b>	<b>Nivel 0</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Nivel 5</b>
Habilidades del empleado	No tienen habilidades	Empleados tienen bajos niveles de habilidades en un área relevante	Empleados tienen bajos niveles de habilidades en unas pocas áreas relevantes	Empleados tienen niveles adecuados de habilidades en algunas áreas relevantes	Empleados tienen niveles adecuados de habilidades en varias áreas relevantes	Empleados poseen todas las habilidades necesarias en varias áreas relevantes

Adaptado de Lichtblau et al. (2015)



## ANEXO S: Codificación y categorización de información cualitativa

Tabla S1: Marco de Codificación de Entrevistas a Sujetos de Estudio y Proveedores

Categoría	Código	Definición
Estructura Organizacional	Distribución de niveles organizacionales	Referido a la forma por la cual la empresa se estructura y organiza, identificando la relación entre cada una de las áreas internas.
Estrategia	Planificación e indicadores	Referido al modelamiento estratégico de la empresa, tomando en cuenta los objetivos e indicadores de monitoreo.
	Propuesta de valor	Referido a la estrategia seleccionada por la empresa para la obtención de la ventaja con la competencia.
Empleados	Estructura de equipos de trabajo	Referido a la cantidad, distribución, características de los empleados dentro de cada unidad funcional de la empresa.
	Funcionamiento de equipos de trabajo	Referido a la operativa, relacionamiento y comunicación entre equipos dentro de cada área de trabajo en la empresa.
Procesos y Operaciones	Procedimiento y operativa de producción	Referido al proceso operativo interno que cada área organizacional desempeña para la producción.
	Descripción y funcionamiento de maquinaria	Referido a la descripción de las características, las cantidades y tipos de máquinas utilizadas dentro de cada área de la empresa.
Relación con actores de la cadena de suministro	Tipo de relación establecida	Referido a la forma y las características del relacionamiento con los clientes y/o proveedores
	Objetivos compartidos	Referido a la integración y alineamiento de los objetivos entre los actores de la cadena de suministros
	Nivel de digitalización	Referido al nivel de avance tecnológico de los proveedores y/o clientes
Tecnología	Proyectos implementados	Referido a las implementaciones tecnológicas desplegadas en las unidades operativas y/o procesos de la empresa
	Proyectos futuros	Referido a la planificación que se tiene con respecto a la tecnología a ser implementada en las áreas o procesos organizacionales.
	Opciones de tecnología	Referido al conocimiento e identificación de nueva tecnología o mejoras en la tecnología ya implementada dentro de la empresa.
Cambio Organizacional	Proceso y manejo del cambio	Referido a la gestión del cambio en términos de diseño de la estrategia y la ejecución de las modificaciones en los procesos y/o equipos de trabajo.
	Beneficios del cambio	Referido a las ventajas y nuevas oportunidades obtenidas debido a los cambios tecnológicos y/u operativos dentro de la empresa.
	Dificultades del cambio	Referidos a las barreras y limitaciones presentadas durante el proceso de implementación de las mejoras tecnológicas.

## ANEXO T: Sistematización y síntesis de hallazgos cualitativos y entrevistas

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Estrategia y Organización	Diagnóstico	<p>"Lo primero definitivamente es que tengas un diagnóstico claro de los activos tecnológicos en la empresa y sepas qué activos tecnológicos quisieras tener" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Lo segundo es identificar si tenemos las capacidades internas o no" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"Entonces, hay que hacer un diagnóstico de capacidades, de activos tecnológicos, del mercado, cómo está la demanda y la oferta en función de tu rubro, y de las capacidades gerenciales que se deben tener para la lectura de este tipo de analítica digital" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Creo que probablemente la estrategia es analizar primero a su empresa y centrarse en lo que cree que es lo más importante, e intente construir o mejorar esta parte, no mejorar completamente la fábrica" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"Por lo tanto, lo básico sigue siendo lo mismo, no puede adoptar o implementar cualquier tecnología y decir que esta es una solución. Primero necesita conocer el problema ... ¿verdad? primero necesita encontrar un problema y definir una estrategia y parte de esa estrategia es la implementación de esta tecnología y cómo superar ese problema" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"Nosotros le realizamos un pequeño diagnóstico inicial, situamos cómo está la empresa y a partir de ahí, identificamos un proyecto de Industria 4.0 en función a su capacidad" (J. Ganzarain, 11 de mayo, 2020)</p>
	Visión personalizada de Industria 4.0	<p>"Creo que tienen que adaptarse, como deberían venir con su visión personalizada de Industria 4.0. Entonces, ellos ... lo que estoy tratando de decir, no pueden adaptar el modelo tal como está, que cualquier otra organización lo está haciendo. Entonces, según sus necesidades y requisitos, tienen que cambiar" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"Lo primero que deberíamos tener de alguna manera es desarrollar misión y visión y una estrategia de Industria 4.0, es lo primero que deberíamos tener. Entonces, la primera pregunta que hacemos es cómo hemos definido la estrategia, qué visión tenemos hacia Industria 4.0 vista hacia 4 o 5 años" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"Lo siguiente que tienes que ver es también hasta dónde quieres llegar con el proceso que no necesariamente va a ser una Industria 4.0 de la noche a la mañana, entonces tienes que ver cuáles son las etapas claves en las que te vas a insertar" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
	<p>Visión personalizada de Industria 4.0</p>	<p>"Algo que no hemos comentado sería los modelos de negocio. Yo creo que con todo esto hay un cambio radical de propuestas de valor y modelos de negocio que sigue un poco al cambio radical de todas las organizaciones. No es una revolución tecnológica, sino también una no tecnológica y yo siempre digo, porque al final estamos cambiando la forma de hacer negocios" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"Consideraría que es identificar en dónde queremos ser líderes y ver cuáles son las tecnologías que necesitaríamos adoptar. Esto es como punto de partida: entender bien hacia dónde queremos ir" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p>
<p>Estrategia y Organización</p>	<p>Proyectos específicos de Industria 4.0</p>	<p>"Nos vamos a imaginar que es un proyecto a largo plazo, con lo cual tenemos que tener un plan, un journey identificado con diferentes indicadores ... De ahí, al final lo que hacemos es de alguna manera un roadmap, y al final el hacer el roadmap ayuda un poco a hacer diferentes proyectos en el alcance temporal" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... En ese roadmap ya puedo visualizar diferentes proyectos con diferentes alcances con diferentes presupuestos, y ahí ya una priorización de proyectos. Entonces, tengo un portafolio de proyectos y hago una pequeña priorización del alcance, de los riesgos incluso de los recursos que hay que invertir" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"Darse permiso para probar y fracasar mientras se testean las soluciones, se debe de usar mucho tiempo para el desarrollo de un plan de transformación digital (se usa aprox 1.5 años), pruebas y fracasas" (A. Schumacher, comunicación personal, 15 de mayo, 2020)</p> <p>"... necesita comprender completamente su objetivo, lo que significa y necesita comprender su posición actual y en qué sistema de objetivos se enfoca. Entonces, probablemente, si nos centramos en un sistema de fabricación específico, podríamos mejorar el nivel de inteligencia para la máquina o proceso objetivo, desde el nivel de control hasta el nivel de inteligencia. Puede centrarse en una sola máquina o proceso para aumentar el nivel de inteligencia en lugar de centrarse en toda la fábrica" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"Lo que trataría de hacer es tal vez intentar implementarlo en la cadena de suministro. Quizás primero haga que las cadenas de suministro sean más efectivas. Tal vez puedan usar IoT o tal vez sistemas físicos de Cyber allí y luego analizar los datos y optimizar las cadenas de suministro, y luego tal vez ir a la parte de diseño" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Estrategia y Organización	Asociación con otras organizaciones	<p>"... Por lo cual, lo que hace mucho más sentido es asociarse, aliarse con alguna otra institución que se especializa en eso, ya sea una universidad, un FabLab, un centro de excelencia o algo, o una start up que está desarrollando una tecnología interesante. Sería aliarse con ellos como para poder crear algo en conjunto y poner la PyME como el "conejo de indias", poner la empresa a su disposición para poder implementar estas nuevas tecnologías" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"Los proyectos pueden ser desarrollados en conjunto con las universidades, estas podrían realizar la investigación sobre qué tecnologías requiere una empresa para poder recolectar la data que necesita y así ahorrar el dinero de investigación" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"... porque estamos hablando de medianas y pequeñas, normalmente no tienen este enfoque y no tienen ni tiempo de visualizar la visión hacia la Industria 4.0. Entonces es importante el apoyo externo, es clave el apoyo externo, de hecho, así lo hacemos normalmente es una parte nuestra de apoyar desde fuera hacia las empresas" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... nosotros podemos ser los especialistas y podemos tener 20 a 26 años aquí, perfecto, somos especialistas, pero muchas veces estamos tan metidos en el negocio y metidos entre el tema de ida y vuelta de prioridades que el cliente pide y que hacer todos los proyectos, pero a veces no tenemos tiempo incluso para vernosotros mismos lo que está pasando dentro, las oportunidades que tenemos, es por eso que en algunos momentos se contratan algunos consultores. ... Entonces, es importante tener asesoría por más experto que tú seas, la asesoría es vital, porque te va a ayudar a poder descubrir algo que tú no ves" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>
	Inversión Financiera	<p>"Sí, la primera limitación es la cuestión financiera ¿no? La inversión de capital necesaria para empezar eso" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"Entonces, todas estas inversiones y el retorno de la inversión resultan clave para poder entenderlo [inversión en Industria 4.0]" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Todo el costo de implementar esas tecnologías de la Industria 4.0 se ha reducido, pero una organización tiene que gastar algo en eso ... y luego no saben cuándo vendrán estos beneficios o el retorno de la inversión, eso no está claro" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"Pero, en qué tecnología invertiría y cuándo dará retorno de la inversión, esto no está claro. Entonces, la motivación es que, tal vez al principio, tengan que correr el riesgo y si pueden convertirse, como, pueden invertir ahora y convertirse en líderes, entonces estarían mejorando en comparación con sus competidores" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Estrategia y Organización	Inversión Financiera	<p>"Sabemos que una mediana empresa te puede esperar de 3 a 5 años; una PyME el primero ya quiere tener ganancias, quick wins. Entonces, ese es un poco también las diferencias de los timings que tienes para poder sentir que tu empresa hizo una inversión que le ayudó a tu negocio a crecer" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Bueno yo creo que sin capital no es un camino fácil ¿no? Pero puede hacer cosas en un tiempo mejor, no no es fácil en un tiempo corto, pero con un proceso más lento de implantación" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"Lo que es que la sostenibilidad también requiere de un presupuesto ¿No? requiere de una inversión ¿No? O sea, tener toda un área de sistemas de energía solar no es barato, una planta de tratamiento de agua tampoco; o sea... y cuando utilizas ciertas pinturas que están libres de PVC o partículas de petróleo... o sea, tampoco es muy barato. Entonces, claro, sabemos que eso cuesta, pero para hacer... pues, viendo hacia el futuro, sé que nos va a dar logros [...]" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)"</p>
Nivel de Digitalización de la Organización	Digitalización de la información	<p>"Creo que, si pudieras comenzar desde la recopilación de más datos, esa es probablemente una forma bastante eficiente que puede ayudar a una PYME a subir de nivel su nivel de digitalización. No necesita el control totalmente automático, pero al menos primero recopila los datos primero y luego piensa en cómo unir todas las demás cosas" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"Yo creo que la digitalización pasa por los procesos de tener todos, todos los documentos, todos los datos, las informaciones en archivos digitales que se puede, de alguna forma, aprovechar " (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"... La primera es cuando tiene que mejorar los procesos internos y externos y esto es una fase interna ... supone que tenemos que tener todo el tema del ERP, los documentos, las facturas, las órdenes de trabajo, las órdenes de mantenimiento todo digitalizado internamente" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... Para mí cuando hablamos de digitalizado podría significar muchas cosas, para algunos podría ser simplemente que la información esté disponible o que sea todo en tiempo real" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
<p>Nivel de Digitalización de la Organización</p>	<p>Digitalización de elementos clave</p>	<p>"Pero, aun así, quiero decir que si quieres alcanzar la Industria 4.0, primero debes pensar en tu digitalización. Por lo tanto, debes nivelar su digitalización incluso para una PYME, pero no creo que deba gastar todo su dinero para construir una fábrica automática, pero al menos podría pensar en me refiero a la máquina más importante que puede nivelar su nivel de digitalización" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"... Pero eso no significa que deba gastar una gran cantidad de presupuesto para construir un nivel de digitalización ... para los diferentes propósitos o una estrategia diferente de la compañía, pueden tener un plan diferente para nivelar la digitalización, que al menos pueden tener un comienzo para alcanzar el nivel de Industria 4.0" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"... Pero, para una compañía en desarrollo o una compañía en una compañía emergente, es probable que primero necesiten nivelar su nivel de digitalización y luego pensar en algo más como inteligencia u otra tecnología para ayudarlo a alcanzar el nivel de Industria 4.0" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"... pero tratando de una Industria, haría toda la digitalización para en un segundo plano poder usar los ejes digitales y poder también usar todas las tecnologías como Realidad Aumentada, Manufactura Aditiva, Robótica, etc. Pero empezaría por las digitales, estructura de IoT" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"Por ejemplo, pensar en una IoT para la empresa, en un primer momento. Pensando en una adquisición tercerizada de computación en nube y que es una cosa que puede ser escalable, no sé, vas empleando conforme a la necesidad y puedes. ... Lo mismo puedes hacer con el Big Data, entonces, es un proceso" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"En principio las limitaciones [de la digitalización] son muchísimas, los recursos y falta de tiempo clarísimamente, también te pueden decir falta de presupuesto. Pero bueno, yo creo que cada vez es menor porque hay muchísimas ayudas" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"Si una empresa textil no tiene digitalización y software muere, definitivamente muere, muere, muere en el tiempo. O sea, el tiempo hablo como proceso ¿No? o sea, si con digitalizar te estás demorando en una prenda, en hacerla, pues, unos 12 minutos, sin digitalizar te la vas a hacer fácil en 20 ¿Por qué? Porque la digitalización es meter información y liberar información para la planta" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Nivel de Digitalización de la Organización	Digitalización de elementos clave	<p>"¿Dónde tiene que iniciar, en qué área debe iniciar la digitalización? Tiene que iniciar en tu área ... tiene que iniciar en tu área ... o sea, en tu área comercial que es tu área que vende, y de ahí se traspa esa digitalización a tu área de desarrollo, porque en tu área de desarrollo tú vas a grabar patrones, estándares, y tales cosas, y tú necesitas que eso esté archivado en alguna parte para que tú fácilmente lo puedas coger como patrones aprobados. O sea, la digitalización en nivel de área de comercial por precio, de desarrollo por estándares ¿Okey? Tienes que empezar por ahí, son tus primeras áreas que tienes que comenzar a ordenar, en tu pequeña empresa también ... Claro, y si eres una pequeña empresa que eres solvente traslada tu parte a tu ... a tu área de corte, a tu área de costura para que puedan trabajar también de la manera más eficiente y rápida ¿No? Pero, en nivel de desarrollo, cuando tienes estándares y tienes patrones, tú no puedes estar haciendo los patrones cada rato, porque lo haces de manera manual, te mueres, tienes que hacerlo bajo un y un software, es recomendable ..." (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>
	Conectividad de dispositivos	<p>"Luego tienes que saber perfectamente que el internet y los dispositivos que puedas tener dentro de la planta tiene que ser un factor esencial: la conectividad de tus dispositivos y el permanente uso de la conectividad es crucial, y no es tan fácil en una planta, no es tan sencillo, hay que ver cómo se instala el tema del hardware" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Ahora, en niveles anteriores, tienes que ver las capacidades que tienes de dispositivos ¿qué dispositivos tengo?, luego la capacidad de poder tener data sobre esos dispositivos en tiempo real a nivel de operaciones, la capacidad a nivel de gestión de calidad de tener indicadores de calidad (ese ya es un nivel superior) y luego lo del ERP" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p>
	Conexión entre sistemas de información	<p>"Tiene que tener sensores, una de las tecnologías para comunicación podría ser un RFID que los sensores estarían informando. La empresa debería tener un ERP, un software para controlar todo ... Un Sistema de MES para poder conversar entre el ERP en tiempo real con todas las áreas y la manufactura, lo shum [sic] de fábrica, recibiendo las informaciones tanto del mercado como de los consumidores, cuanto de los proveedores" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"Me explico, para que tú llegues a ser una industria 4.0 tienes que poder hacer que tu ERP (tu planificación de recursos) sea automatizada; o sea no es Industria 4.0 una empresa que le haya puesto robots y digitalización, Industria 4.0 es cuando tienes ya un sistema de planificación de recursos" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Y, finalmente, ya no solamente te quedas ahí, sino que puedes definir un sistema de planificación de recursos: un ERP, que te permita ya tener todos los procesos incluso de qué requieres, qué necesitas, qué está en stock, qué tienes que comprar en función de los pedidos y la demanda generada; todo eso ya lo tienes automatizado" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Nivel de Digitalización de la Organización	Conexión entre sistemas de información	"Al menos, cuando se trata de PYME, tal vez no necesiten un sistema ERP completo, pueden ir a ese módulo particular de ERP y usar estos sensores, donde pueden almacenar y analizar la información" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)
Grado de Digitalización de la Cadena de Suministros	Transparencia de información	<p>"Mi respuesta corta es que sea imperceptible: que sea tan sencillo, tan transparente, toda la comunicación, el sistema, los procesos, tan integrado entre cada una de estas personas y entidades que sea tan difícil de poder distinguir ... Pero también está el tema de transparencia o sea nunca hemos tenido tanto nivel de transparencia, de información como ahora y el hecho de que haya más información no significa que haya mayor transparencia, sino hay que saber cómo transportarla y ponerla visible para que sea transparente" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"En su mayoría, pueden estar dirigidos o, en ocasiones, dictados por empresas más grandes a las que están trabajando como proveedores. Pero, si pueden demostrarlo o si pueden decirlo, dígalos efectivamente a las empresas más grandes que seríamos más efectivos, por eso lo estamos haciendo y si son más efectivos incluso los fabricantes, están sirviendo para poder trabajar de manera más efectiva. Debido a que en la cadena de suministro siempre es una situación en la que todos ganan, uno de los jugadores podría ganar por un tiempo de paz temporal, pero en general, si uno de ellos pierde, entonces todos los jugadores en la cadena de suministro con el tiempo van a perder ..." (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"... Se supone que todo lo que se haga tiene que estar contrastado y conectado y esta es la primera barrera, si todavía no tenemos una información compartida en todo el proceso productivo, no hacemos nada" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... algo que el cliente aprecia mucho es la transparencia. O sea, si yo le estoy haciendo un producto tengo que ser transparente con lo que estoy haciendo con su producto ... entonces, si alguna prenda tiene algún problema yo tengo que decirle el problema de manera muy transparente, el problema que hay con esto, el cliente requiere transparencia, requiere veracidad" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>
	Integración vertical y horizontal	<p>"La cadena también debe estar integrada para poder funcionar de forma correcta con la 4.0" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"Al final son dos elementos clave, antes los he comentado vuelvo a repetir es un poco la integración vertical y la integración horizontal en toda la cadena de valor. En una integración horizontal como bien supone tenemos que integrar tanto al cliente como al proveedor siguiente dentro de la misma organización, con lo cual esto supone compartir datos, supone tener una serie de relaciones que igual hasta ahora no la teníamos" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Grado de Digitalización de la Cadena de Suministros	Integración vertical y horizontal	<p>"... Hasta que exista un acuerdo de las partes en las que se pueda considerar que parte de la condición de ser parte de la cadena de suministro que yo tengo es que tú automatices este proceso y adoptes este software para poder mantenernos comunicados ... una mediana empresa puede ser, pero una pequeña empresa no lo sé, tendría que ser influyente para decirle a su proveedor "tú para ser mi proveedor tienes que comprar este software y tienes que tenerlo aquí para mantenernos comunicados y que el procedimiento sea automatizado" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"O sea lo ideal en una industria 4.0 alemana es que el mismo sistema del ERP que tú ya tienes automatizado, le pide a los proveedores la demanda que requieren, o sea la demanda que se tiene como empresa, eh.. Manda la información y los proveedores ya tienen sistemas articulados para leer lo que ese ERP te está pidiendo; es decir, tienes que estar conectado a los ERP de tus proveedores y clientes ..." (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Bueno, no estoy seguro de qué tantas restricciones puedan haber, me imagino que deben haber varias, la que se me viene a la mente inmediatamente es que no tengas proveedores, o sea tanto hacia atrás y hacia adelante tus aliados con los que piensas colaborar no estén preparados para digitalizarse ..." (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p>
	Proveedores de tecnología para digitalizar	<p>"... las personas responsables van a tener un diálogo directo con los proveedores que participan de la cadena de suministro para poder definir número 1 cuánto maximiza la eficiencia y productividad lo que estos proveedores están ofreciendo; número 2 cómo se va a desarrollar el proceso de curva de aprendizaje o desarrollo de capacidades para la adopción de esta tecnología, en cuánto tiempo va a poder llevarse a cabo de manera satisfactoria y número 3 cómo es el sistema de los recambios tecnológicos y cuáles son los planes de mantenimiento ... Entonces, la cadena de suministros tiene que estar en función de estas tres cosas: no solamente qué me vas a proveer, sino cómo vas a desarrollar la capacidad de mi gente y finalmente dime que esto no me va a salir carísimo ..." (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p>
	Comunicación entre actores	<p>"... tener una serie de relaciones que igual hasta ahora no la teníamos, supone cambiar todas las relaciones de juego en la cadena de valor con todos los agentes que existen: empezamos con clientes, seguimos con proveedores, nos vamos más allá incluso si podemos colaborar con un competidor también estaría bien, o si podemos colaborar con cualquier agente de la red de ciencia y tecnología también. De esta manera cambia todos los agentes de menos riesgo a más riesgo, de más cercanía a menos cercanía, tenemos que dibujar el mapa de stakeholders e identificar una estrategia de cómo vamos a colaborar, un plan de colaboración en cada uno de ellos en ese compartir datos" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... depende en qué escala estoy, en qué nivel de la cadena de valor estoy, bueno pues podré identificar y seguramente tendré un tope en esa colaboración" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Grado de Digitalización de la Cadena de Suministros	Comunicación entre actores	<p>"Una cadena de suministros PYME en un entorno 4.0 debería de ser un mix entre contacto informal con proveedores (apps de chat y celular) e implementaciones formales (plataformas compartidas con proveedores). Una ventaja de las PYME es que sus trabajadores están más dispuestos a tener ese tipo de contactos" (A. Schumacher, comunicación personal, 15 de mayo, 2020)</p>
Adaptabilidad de los empleados	Reasignación de puestos y trabajadores	<p>"... hay que recolocar talentos también, porque muchos pueden aprender y tiene que siempre abrirse la puerta al aprendizaje, pero otros se van a resistir, se van a frustrar; pero de repente su talento puede estar más en un área de prototipado, a nivel de innovación de producto, lo que fuere. Entonces, hay que reubicar talento también, creo en el desarrollo de capacidades digitales, sí, pero también creo en la reubicación del talento en otras áreas en donde también puede ser mucho mayor" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Algunas compañías necesitan reclutar nuevos técnicos o nuevos ingenieros que tengan este tipo de conocimiento tecnológico, en lugar de capacitar a los empleados anteriores. Las empresas pueden capacitar a los empleados anteriores, pero en algún momento el costo podría resultar mayor que contratar a uno nuevo" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"Sin capacitación no creo que podrán hacerlo. Las soft skills podrán ser aprovechadas en otras áreas que no necesitan eso, pero la absorción no sería total. Yo creo que una parte, 20-30% puede ser aprovechadas en otras áreas, pero el 100% no" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"... Entonces, hay que tener cuidado de banalizar el activo de conocimiento que se está teniendo por entender que ahora los que programan son los tótems; sí, pero no tienen el know how de las técnicas o de las formas de abordar el diseño propiamente, eso en telas es clave" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"Entonces yo creo que para el tema de digitalización para las empresas el obstáculo más grande va a ser las personas porque desafortunadamente hay que traer gente nueva a la organización que viene con este mindset totalmente distinto, con este conocimiento totalmente distinto y tienen que reemplazar a una parte de aquellos que difícilmente van a poder adaptarse" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"El futuro son las personas que trabajan con la máquina, no renunciamos a las personas, porque creo que las máquinas no pueden reemplazar a las personas por completo. Eso significa que en el futuro las máquinas tendrán más adopción para trabajar con las personas" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Adaptabilidad de los empleados	Adaptación a nuevas formas de trabajar	<p>"Entonces, creo que acá el tema central es que hay una tecnología que se está metiendo y tienes que buscar procesos de desarrollo de capacidades en las personas para su adopción y no son procesos de cambio organizacional sencillos" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Entonces, antes que nada, estas tecnologías, deberían pensar que esto es algo que respaldará su trabajo ... Entonces, primero e incluso el empleador debe asegurarse de que los empleados tengan que sentirse seguros con eso ... este empleado debe estar al tanto de las tecnologías de la información ... entonces, si él es muy consciente de algo, sabrá cómo mejorar la organización" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"Creo que la limitación más importante que encontré es que las personas tienen una comprensión diferente de la tecnología. Es difícil involucrar a las personas para que aprendan las nuevas tecnologías, especialmente para los empleados. Algunas compañías necesitan reclutar nuevos técnicos o nuevos ingenieros que tengan este tipo de conocimiento tecnológico en lugar de capacitar a los empleados anteriores. Esa es una cosa que creo que es una limitación significativa para que las empresas mejoren su nivel de digitalización" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"... Entonces, el operario es muy hábil, pero, el operario también de costura es bastante reactivo al cambio también, cuando le quiere decir a ese operario: "Oye, hazlo de esta manera" te encuentras con esas barreras, pero poco a poco lo vas convenciendo a ellos, porque realmente la empresa se maneja bajo estándares, todo, y tenemos que irlos guiando ... Entonces, el operario es muy hábil, pero el operario es rígido, okey, al cambio ¿No? y el operario también es exigente con la carga de trabajo ¿No?" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>
	Nuevas habilidades y competencias	<p>" ... Se trata de personas con especialización en manejo de base de datos, inteligencia artificial, sepa conocimiento de machine learning, son cualidades que hoy son bien competitivas en el mercado" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"La mejor manera de pensar en el empleado que se necesita para el futuro podría ser el que ahora se menciona mucho que es el intra emprendedor ... que es básicamente un emprendedor dentro de la organización, donde se valora la autonomía, creatividad, que uno salga con sus propias soluciones, que sea ingenioso, ese tipo de cosas son más útiles, que puedan hacer experimentos, que puedan cometer errores y aprender de ellos. Eso es un poco lo que se va valorando cada vez más dentro de una organización" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Adaptabilidad de los empleados	Nuevas habilidades y competencias	<p>"... probablemente dentro de la Industria 4.0, la lógica sea tener equipos de desarrollo de productos, de inteligencia competitiva, de otro tipo de capacidades que permitan mantener vigente la producción ... hay una reabsorción de la gente a modo de talento humano que tenga capacidad crítica y creativa; aunque yo le agregaría 3 tipos: capacidad crítica, capacidad creativa y capacidad estratégica; que implica anticipación, detección de oportunidades y elaboración de planes de acción" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Pensar en lo que un ingeniero necesita. Hoy tiene que conocer análisis de datos, un ingeniero de producción, mecánico, un ingeniero civil tiene que tener algún conocimiento de lenguaje de computador para algoritmos, para machine learning" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"... Por ejemplo, si está en una industria de fabricación, entonces, además de la fabricación, este empleado debe estar al tanto de las tecnologías de la información ... Entonces, tal vez creo que en un momento las habilidades tienen que ser cambiadas, las habilidades que serían importantes, una vez más, conscientes de TI, electrónica y tal vez también el análisis de datos." (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p> <p>"... los ingenieros que contratas, las personas administrativas, deberían definir ... ellos y los ingenieros deberían tener más y más habilidades en la programación, estar conscientes de hacer nuevos programas, estar conscientes de cambiar algunas cosas de TI" (P. Pecas, comunicación personal, 5 de mayo, 2020)</p> <p>"creo yo que la habilidad mayor que demanda es... que es importante ¿Ya? Yo diría que es necesaria... digamos que sí, digamos que sí, pero sí es importante tener la experiencia para poder estar dentro de un área técnica; o sea, por decirte... te digo, si es que tienes un área de tintorería, tienes que haber alguien con experiencia que pueda estar directamente en la tintorería para que su adaptación sea rápida, y también los ajustes se hagan de una manera más adecuada y a la vez también más eficaz" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>
Productos, Servicios y Fábrica Inteligente	Nuevo alcance y oportunidades	<p>"... el propio producto que tú des no sólo utilice productos de software o digamos se de en un contexto de digitalización y automatización; sino que tú también tienes algún tipo de prenda que se hace con nanotecnología, por ejemplo, ya, ahorita. Entonces, en textiles, yo supongo que una de las tendencias más interesantes que podrían devenir es el uso de nanotecnología en las prendas, que ya es un hecho o sea ya existe. Entonces, podríamos articular, sí, productos inteligentes para las propias personas, eso." (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Productos, Servicios y Fábrica Inteligente	Nuevo alcance y oportunidades	<p>"... Entonces el reto total, todas las empresas grandes y pequeñas tienen que pasar por este tema, bien smartizando productos, pasando a smartizar servicios, añadiendo servicios, incluso de alguna manera pasando a un segundo plano el producto siendo el servicio la estrella" (J. Ganzarian, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>"... entonces es cómo añades información a algo que ya funcionaba para hacerlo mejor normalmente más flexible y más exacto ¿no? Yo creo que ese es uno de los ejemplos típicos en estimación de demanda. La otra es que se hace menos importante predecir y adelantarse cuando tienes al alcance conectividad como la tenemos ahora, o sea tú ahora en tiempo real puedes saber muchas cosas, entonces mi pregunta es por qué hago un plan de mantenimiento predictivo cuando puedo saber más bien que una pieza ya está vibrando a tal punto que sé que se puede romper en las siguientes tres horas y puedo mandar a alguien a que lo arregle" (E. Torres, comunicación personal, 24 de abril, 2020)</p> <p>"Los productos y servicios tienen el mayor potencial en las PYMES dado que el ciclo de desarrollo de los mismos es mucho más corto que las empresas grandes: pueden jugar mejor sus cartas. La fábrica inteligente no es tan importante para las PYMES" (A. Schumacher, comunicación personal, 15 de mayo, 2020)</p> <p>"El producto o servicio inteligente genera un mercado más grande comparado a los productos y servicios tradicionales" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p>
	Beneficios	<p>"Bueno el potencial de tener fábrica, producto y servicios inteligentes es la eficiencia, o sea el poder obtener mejores márgenes en lo que estás produciendo, volverte más competitivo y ganar. En vez de basarte en mano de obra, te estas basando en la gestión de conocimiento, en poner ese conocimiento a producir capital, usar esa tecnología para acortar costos" (J. Sotomayor, comunicación personal, 11 de abril, 2020)</p> <p>"Yo creo que los softwares que implementan dentro de una empresa te brindan ya la capacidad de tomar cierto nivel de decisiones, de automatizar cierto nivel de decisiones" (A. Pérsico, comunicación personal, 19 de abril, 2020)</p> <p>"... Entonces creo que a eso va el tema de la tecnología, y nos puede ayudar a tomar decisiones más rápidas, más flexibles, a ser más eficiente en costos, porque eso implica que ya no tengo que tener inventarios ni tanto dinero invertido, en ... gestionar de manera distinta la negociación que hago con los proveedores, entonces es yo creo que eficiente" (E. Torres, comunicación personal, 24 de abril, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Productos, Servicios y Fábrica Inteligente	Beneficios	<p>"... al tener una máquina que te da todas estas predicciones ya no tienes que tener una persona dedicada en logística a hacer el forecast de demanda, ya no tienes que tener un equipo tan grande en logística haciendo la coordinación con los equipos, ya no tienes que tener un equipo de ventas que esté disparando a ciegas porque puedes tener un modelo que te de propensión de ventas por clientes entonces priorizas mejor las visitas que van a hacer. Entonces en todas estas cosas de cómo priorizar y optimizar es donde entra esta parte de inteligencia artificial y de predicción y de costumización ¿no? Y a la larga eso aumenta la productividad" (E. Torres, comunicación personal, 24 de abril, 2020)</p> <p>"Genera beneficios en cuanto a la reducción de desperdicios y aumento en resultados" (J. Qin, comunicación personal, 28 de abril, 2020)</p> <p>"En este sentido, el producto inteligente va a traer un beneficio muy grande porque nosotros conseguimos acompañar la vida útil y lo que va a ser de ese producto al final de su vida" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p>
	Definición de "inteligencia"	<p>"... realmente es muy complejo que haya algo inteligente y lo que hacemos normalmente es heurística, y casi todas las cosas que hablamos de machine learning e inteligencia artificial, en la mayoría y digo la mayoría de los casos eh... lo que hacen son heurísticas y el algoritmo lo que hace es aprender patrones y decisiones y replicar ciertas formas de inteligencia básica" (E. Torres, comunicación personal, 24 de abril, 2020)</p> <p>"Creo que el aspecto inteligente estaría relacionado con estos datos. Cuando puede tomar decisiones a través de estos datos, esa persona o esa industria u organización sería inteligente. Entonces, implementar solo la tecnología sería una automatización para mí, pero si alguien puede tomar esas decisiones, alguien puede decirlo con más confianza, tal vez podamos obtener la demanda de una mejor manera al usar esta tecnología" (S. Mittal, comunicación personal, 4 de mayo, 2020)</p>
Liderazgo y Compromiso	Pérdida del miedo	<p>"... si los propietarios de la empresa son conscientes del potencial de la Industria 4.0. Tal vez necesiten una formación más informada y específica para no tener miedo ... no deberían temer a la Industria 4.0, deberían ver que hay una gran oportunidad" (P. Pecas, comunicación personal, 5 de mayo, 2020)</p> <p>"... No está comenzando por el área más complicada, sino algún tipo de talleres que promueven lo que se puede hacer con la Industria 4.0, lo que es la Industria 4.0, por ejemplo, en Alemania hay muchos laboratorios de la Industria 4.0 en las universidades, si las PYME van a esos laboratorios ... no tiene, eh ... cosas muy avanzadas de la Industria 4.0, tienen cosas simples pero estos laboratorios están ahí para que la gente industrial pierda el miedo" (P. Pecas, comunicación personal, 5 de mayo, 2020)</p>

**Tabla T1: Sistematización y síntesis de entrevistas a expertos de Industria 4.0 y expertos del sector Textil-Confecciones (continuación)**

Categoría	Código	Expertos de Industria 4.0 y del sector Textil-Confecciones
Liderazgo y Compromiso	Compromiso de gerencia	<p>"Es necesario un compromiso temprano de la gerencia" (A. Schumacher, comunicación personal, 15 de mayo, 2020)</p> <p>"Si un gerente o el director de empresa que toma decisiones no lo ve estratégico no hacemos nada en este proceso, tiene que estar liderado por él. Yo le puedo apoyar, pero el liderazgo tiene que ser de él" (J. Ganzarain, comunicación personal, 11 de mayo, 2020)</p> <p>" ... pero, en primer lugar, tiene que tener la condición de la alta administración de la empresa querer eso. Se concientizar que eso es importante. No mirar en un primer momento los retornos de capital y no mirar con los tiempos también que puede ser más, no tan culto con capital... pero si no hay una concientización de los dueños, de la alta administración, de los directores, es difícil hacer a lgo ¿no? Acreditar en algo y es el tipo de las cosas que no pueden hacer de abajo para arriba, debe ser de arriba para abajo la decisión. Dar los primeros pasos es concientizar la alta administración y vender la idea, creer que eso va a ser importante" (A. Pacchini, comunicación personal, 1 de mayo, 2020)</p> <p>"El primer factor que tienes que tener en cuenta para poder adaptarte a esto es un tema... concientización, convencido que realmente es el camino dónde tienes que ir ¿Okey?" (J. Rojas, comunicación personal, 28 de mayo, 2020)</p>

## ANEXO U: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensiones

**Tabla U1: Matriz de comparación de Dimensiones**

	Estrategia y Organización	Fábrica Inteligente	Operaciones Inteligentes	Productos Inteligentes	Servicios Basados en Datos	Empleados
Estrategia y Organización	1.000	3.000	4.000	9.000	8.000	2.000
Fábrica Inteligente	0.333	1.000	2.000	6.000	5.000	0.500
Operaciones Inteligentes	0.250	0.500	1.000	5.000	4.000	0.333
Productos Inteligentes	0.111	0.167	0.200	1.000	0.500	0.143
Servicios Basados en Datos	0.125	0.200	0.250	2.000	1.000	0.200
Empleados	0.500	2.000	3.000	7.000	5.000	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>2.319</b>	<b>6.867</b>	<b>10.450</b>	<b>30.000</b>	<b>23.500</b>	<b>4.176</b>

**Tabla U2: Matriz normalizada de comparación de Dimensiones**

	Estrategia y Organización	Fábrica Inteligente	Operaciones Inteligentes	Productos Inteligentes	Servicios Basados en Datos	Empleados	<b>Weight</b>
Estrategia y Organización	0.431	0.437	0.383	0.300	0.383	0.300	<b>0.372</b>
Fábrica Inteligente	0.144	0.146	0.191	0.200	0.191	0.200	<b>0.179</b>
Operaciones Inteligentes	0.108	0.073	0.096	0.167	0.096	0.167	<b>0.118</b>
Productos Inteligentes	0.048	0.024	0.019	0.033	0.019	0.033	<b>0.030</b>
Servicios Basados en Datos	0.054	0.029	0.024	0.067	0.024	0.067	<b>0.044</b>
Empleados	0.216	0.291	0.287	0.233	0.287	0.233	<b>0.258</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

**Tabla U3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensiones**

<b>WS</b>	$\lambda$
2.51	6.75
1.06	5.96
0.71	6.04
0.18	6.20
0.27	6.05
1.58	6.13

<b>CI</b>	0.0373
<b>CR</b>	0.0301
<b>Consistencia</b>	CONSISTENTE

## ANEXO V: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Estrategia y Organización

**Tabla V1: Matriz de comparación de Dimensión Estrategia y Organización**

	Estrategia	Inversiones	Indicadores	Ges. Innovación
Estrategia	1.000	0.333	3.000	5.000
Inversiones	3.000	1.000	5.000	7.000
Indicadores	0.333	0.200	1.000	3.000
Ges. Innovación	0.200	0.143	0.333	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>4.533</b>	<b>1.676</b>	<b>9.333</b>	<b>16.000</b>

**Tabla V2: Matriz normalizada de comparación de Dimensión Estrategia y Organización**

	Estrategia	Inversiones	Indicadores	Ges. Innovación	Weight
Estrategia	0.221	0.199	0.321	0.313	<b>0.263</b>
Inversiones	0.662	0.597	0.536	0.438	<b>0.558</b>
Indicadores	0.074	0.119	0.107	0.188	<b>0.122</b>
Ges. Innovación	0.044	0.085	0.036	0.063	<b>0.057</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

**Tabla V3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensión Estrategia y Organización**

<b>WS</b>	$\lambda$	<b>CI</b>	0.0395
1.099	4.17	<b>CR</b>	0.0439
2.356	4.22	<b>Consistencia</b>	CONSISTENTE
0.492	4.04		
0.230	4.04		

## ANEXO W: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Fábrica Inteligente

**Tabla W1: Matriz de comparación de Dimensión Fábrica Inteligente**

	Modelado Digital	Inf. de Equipos (actual)	Inf. de Equipos (objetivo)	Recolección de Data	Utilización de Data	Sistemas de TI
Modelado Digital	1.000	0.500	0.500	0.333	1.000	0.333
Inf. de Equipos (actual)	2.000	1.000	1.000	0.500	2.000	0.333
Inf. de Equipos (objetivo)	2.000	1.000	1.000	0.333	2.000	0.333
Recolección de Data	3.000	2.000	3.000	1.000	3.000	1.000
Utilización de Data	1.000	0.500	0.500	0.333	1.000	0.333
Sistemas de TI	3.000	3.000	3.000	1.000	3.000	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>12.000</b>	<b>8.000</b>	<b>9.000</b>	<b>3.500</b>	<b>12.000</b>	<b>3.333</b>

**Tabla W2: Matriz normalizada de comparación de Dimensión Fábrica Inteligente**

	Modelado Digital	Inf. de Equipos (actual)	Inf. de Equipos (objetivo)	Recolección de Data	Utilización de Data	Sistemas de TI	Weight
Modelado Digital	0.083	0.063	0.056	0.095	0.056	0.095	<b>0.075</b>
Inf. de Equipos (actual)	0.167	0.125	0.111	0.143	0.111	0.143	<b>0.133</b>
Inf. de Equipos (objetivo)	0.167	0.125	0.111	0.095	0.111	0.095	<b>0.117</b>
Recolección de Data	0.250	0.250	0.333	0.286	0.333	0.286	<b>0.290</b>
Utilización de Data	0.083	0.063	0.056	0.095	0.056	0.095	<b>0.075</b>
Sistemas de TI	0.250	0.375	0.333	0.286	0.333	0.286	<b>0.311</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

**Tabla W3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensión Fábrica Inteligente**

WS	$\lambda$
0.475	6.36
0.797	5.98
0.749	6.38
1.666	5.75
0.475	6.36
1.800	5.80

<b>CI</b>	0.0213
<b>CR</b>	0.0172
<b>Consistencia</b>	CONSISTENTE

## ANEXO X: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Operaciones Inteligentes

**Tabla X1: Matriz de comparación de Dimensión Operaciones Inteligentes**

	Uso de la Nube	Seguridad de TI	Procesos autorreactivos	Guiado autónomo de piezas	Intercambio de Información
Uso de la Nube	1.000	3.000	9.000	9.000	7.000
Seguridad de TI	0.333	1.000	7.000	7.000	5.000
Procesos autorreactivos	0.111	0.143	1.000	1.000	0.500
Guiado autónomo de piezas	0.111	0.143	1.000	1.000	0.500
Intercambio de Información	0.143	0.200	2.000	2.000	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.698</b>	<b>4.486</b>	<b>20.000</b>	<b>20.000</b>	<b>14.000</b>

**Tabla X2: Matriz normalizada de comparación de Dimensión Operaciones Inteligentes**

	Uso de la Nube	Seguridad de TI	Procesos autorreactivos	Guiado autónomo de piezas	Intercambio de Información	<b>Weight</b>
Uso de la Nube	0.589	0.669	0.450	0.450	0.450	<b>0.522</b>
Seguridad de TI	0.196	0.223	0.350	0.350	0.350	<b>0.294</b>
Procesos autorreactivos	0.065	0.032	0.050	0.050	0.050	<b>0.049</b>
Guiado autónomo de piezas	0.065	0.032	0.050	0.050	0.050	<b>0.049</b>
Intercambio de Información	0.084	0.045	0.100	0.100	0.100	<b>0.086</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

**Tabla X3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensión Operaciones Inteligentes**

WS	$\lambda$
2.893	5.55
1.589	5.41
0.242	4.89
0.242	4.89
0.417	4.86

<b>CI</b>	0.0296
<b>CR</b>	0.0264
<b>Consistencia</b>	CONSISTENTE

## ANEXO Y: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Productos Inteligentes

**Tabla Y1: Matriz de comparación de Dimensión Productos Inteligentes**

	Uso Data	Funciones Complementarias de TI
Uso Data	1.000	3.000
Funciones Complementarias de TI	0.333	1.000
TOTAL	1.333	4.000

**Tabla Y2: Matriz normalizada de comparación de Dimensión Productos Inteligentes**

	Uso Data	Funciones Complementarias de TI	Weight
Uso Data	0.750	0.750	0.750
Funciones Complementarias de TI	0.250	0.250	0.250
TOTAL	1.000	1.000	1.000

**Tabla Y3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensión Productos Inteligentes**

WS	$\lambda$
1.500	2.00
0.500	2.00

CI	0.0000
CR	0.0000
Consistencia	CONSISTENTE

## ANEXO Z: Proceso Analítico Jerárquico para Dimensión Servicios Basados en Datos

**Tabla Z1: Matriz de comparación de Dimensión Servicios Basados en Datos**

	Servicios Basados en Datos	Participación de Ingresos	Nivel de Uso de Datos
Servicios Basados en Datos	1.000	5.000	3.000
Participación de Ingresos	0.200	1.000	0.333
Nivel de Uso de Datos	0.333	3.000	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.533</b>	<b>9.000</b>	<b>4.333</b>

**Tabla Z2: Matriz normalizada de comparación de Dimensión Servicios Basados en Datos**

	Servicios Basados en Datos	Participación de Ingresos	Nivel de Uso de Datos	<b>Weight</b>
Servicios Basados en Datos	0.652	0.556	0.692	<b>0.633</b>
Participación de Ingresos	0.130	0.111	0.077	<b>0.106</b>
Nivel de Uso de Datos	0.217	0.333	0.231	<b>0.260</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

**Tabla Z3: Cálculo de consistencia de matriz de comparación de Dimensión Servicios Basados en Datos**

WS	$\lambda$	CI	0.0194
1.946	3.07	CR	0.0334
0.320	3.01	Consistencia	CONSISTENTE
0.790	3.03		