

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES



**FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO, NIVEL DE MADUREZ E IMPACTO DE LA
EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA DE B.C. HACIA LA INDUSTRIA 4.0**

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS
POR: MARCO VINICIO JACQUEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. VIRGINIA G. LÓPEZ TORRES**

**CODIRECTOR:
DRA. AURORA IRMA MÁYNEZ GUADERRAMA
DR. DIEGO ALFREDO PÉREZ RIVAS**

Ensenada, B. C.

30 de mayo del 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES

Doctorado en Ciencias Administrativas

“Factores críticos de éxito, nivel de madurez e impacto de la evolución de la industria electrónica de B.C. hacia la industria 4.0”

Tesis que presenta para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Administrativas

Marco Vinicio Jacquez Hernández

Dra. Virginia Guadalupe López Torres
Directora de Tesis

Dra. Aurora Irma Máynez Guaderrama
Síndico

Dr. Carlos Antonio González Campos
Síndico

Dr. Oscar Galván Mendoza
Síndico

Dr. Diego Alfredo Pérez Rivas
Secretario

Ensenada, B. C., a 5 de junio de 2020

“Si supiese qué es lo que estoy haciendo, no le llamaría investigación, ¿Verdad?”

Albert Einstein

Agradecimientos

Quiero dejar plasmado mi agradecimiento a las personas que directa o indirectamente contribuyeron para la obtención de este logro, es una lista muy larga, por lo que me disculpo de antemano por no mencionar a alguien. Primero a mi familia: mi esposa Carolina y mis hijos Quetzalli Didjaza y Ethan Humberto que sin su apoyo y sacrificio no lo hubiera podido lograr. A mi directora de tesis Dra. Virginia G. López que me guio por los intrincados caminos de la investigación, me apoyo en la preparación y publicación de artículos, en la asistencia a simposios, presidenta de los sínodos de los exámenes de candidatura y de tesis, y en sus otros múltiples roles: facilitadora de curso de inducción, profesora, coordinadora del DCA.

A mis codirectores de tesis Dra. Aurora Máynez G. por su guía en la concepción del modelo teórico, validación del cuestionario, revisión de capítulos y tesis, apoyo en el análisis PLS-SEM, y facilitación en taller; y Dr. Diego A. Pérez por su apoyo en revisión de capítulos, tesis, retroalimentación en coloquios y publicación de un capítulo de libro, y como secretario de los sínodos de los exámenes de candidatura y de tesis. A mis sínodos de tesis Dr. Carlos A. González por su valiosa retroalimentación y validación del cuestionario y revisión de la tesis; y a el Dr. Oscar Galván M. por apoyarme en los cálculos del modelo en SmartPLS, iniciar y guiarme en el análisis y reporte de resultados del PLS-SEM y por su revisión de la tesis. A mi primera directora de tesis Dra. Blanca R. García por enseñarme su visión del proceso de investigación.

A mis profesores de las materias del doctorado porque sus enseñanzas enriquecieron esta tesis: Dra. Verónica G. de la O; Dr. Jorge A. Ruiz; Dra. Lourdes Camarena O.; Dra. Sheila Delhumeau R. (también como facilitadora en curso de inducción); Dra. Blanca E. Lara; Dr. Javier Sánchez; Dr. Patricio Henríquez R. (también como facilitador de curso de inducción); y Dra. Nathzidy Rivera-Urbina, A los facilitadores de talleres y cursos extra que me ayudó en mi comprensión del proceso de investigación: Dr. Javier Jasso, Dra. Ma. Luisa Saavedra, Dr. Oscar A. Esparza, Dra. Hedald Tolentino A. A mis sínodos del examen de candidatura porque afinó mi comprensión de mi tema y me preparó para el examen de tesis: Dr. Vicente Aramburo V., Dr. Arturo Meza A., y Dra. Nelly Calderón de la Barca G. A los facilitadores del curso de inducción Dra. Patricia Jimenez T., Dra. Karin Y. Bückle, y Dr. Ariel Moctezuma. A los investigadores que participaron en la revisión del avance de mi investigación en los coloquios, especialmente al Dr. Alejandro Arellano. A la Dra. Enselmina Marín nuestra primera coordinadora del programa de

doctorado, por su atención esmerada. A mis compañeros de generación por su apoyo y compañerismo durante las clases y asignaciones.

A todos mis profesores de los grados anteriores, en especial al Ing. Enrique (mi memoria no me alcanzó para su apellido) que me dejó una nota en un examen de estadística, donde me decía que iba a llegar lejos, ciertamente espero haberlo hecho en su materia. A mis padres por enseñarme el camino del trabajo horado y los beneficios y tranquilidad mental derivados de ello.

A mis hermanos por haber compartido momentos que han forjado mi carácter. Por último, al Gran Arquitecto por permitir estos logros que enriquecen y nos hacen valorar más nuestro tránsito por esta vida.

Resumen

Antes de este problema de salud que el mundo está enfrentando y que seguramente será la prioridad para muchas empresas, cómo trabajar en condiciones seguras para sus trabajadores, se estaba gestando en el sector de la manufactura un cambio tan grande que se equipará con otros grandes cambios económicos denominados revoluciones industriales. La denominada cuarta revolución industrial, se esperaba, y seguramente con retraso, pero lo hará, que trajera cambios sustanciales, no solo en la forma de manufacturar productos, sino en los productos mismos. El cambio se espera que sea tan profundo que va a afectar no solo a las empresas manufactureras, sino a la sociedad en su conjunto. En vista de estos cambios esperados, surgió la pregunta de qué tan bien preparados estamos en nuestro estado de Baja California para enfrentarlos y/o aprovecharlos. Esta tesis busca responder no solo a esta pregunta sino también a qué tipo de relaciones existen en tres temas primordiales dentro de la Industria 4.0 que son: factores críticos de éxito, medición del grado de preparación o madurez y del impacto de esta. Para responder a esta pregunta se hicieron planteamiento de hipótesis con base a una revisión exhaustiva de la literatura y no de hipótesis previamente desarrolladas. Para el análisis de los resultados se utilizaron diversas técnicas como estadística descriptiva e inferencial y ecuaciones estructurales, para lo ello se hizo uso de software avanzado como IBM SPSS y SmartPLS. Los resultados probaron la mayoría de las hipótesis planteadas a plenitud. Se identificó una relación ente factores críticos de éxito con la medición de madurez y el impacto de la I4.0. Las aportaciones hechas por este trabajo son muchas: conceptualización de constructos; modelo de ruta (*path*) de primer orden; definiciones; cuestionarios que cubren los temas principales; factores críticos de éxito, categorías de medición de madurez e impacto de Industria 4.0; modelo madurez y modelo de implementación de la Industria 4.0.

Palabras claves: Industria 4.0, medición de madurez, factores críticos de éxito, PLS-SEM

Abstract

Before this health problem the world is facing and that will be for sure the priority for many companies, how to resume work in safe conditions for their workers, a change was undergoing in the manufacturing sector, so big that it was compared with other big economic changes known as industrial revolutions. The so-called fourth industrial revolution was expected, and still will with some delay, to bring about substantial changes, not only in the way products are manufactured, but in the products themselves. The change is expected to be so profound that it will affect not only the manufacturing companies but the society. Considering these expected changes, a question arose as to how well prepared we are in our state of Baja California to face and take advantage of them. This thesis seeks to answer not only this question but also to answer what relationships exist in three main subjects within Industry 4.0 which are: critical success factors, assessing readiness and maturity and its impact. To answer this question, hypotheses were made based on an exhaustive literature review instead of established hypothesis. For the analysis of the results, various techniques were used, such as descriptive and inferential statistics and structural equations modeling. To do this, advanced software such as IBM SPSS and SmartPLS were used. The results proved most of the hypotheses to their fullness. This investigation identified the relationship among the critical success factors, the maturity readiness, and the impact of I4.0. The contributions made by this work are many: conceptualization of constructs; a first order path model; definitions; questionnaires covering the main topics; critical success factors, maturity readiness and impact categories for Industry 4.0; maturity model and implementation model for Industry 4.0.

Keywords: Industrie 4.0, maturity readiness, critical success factors, PLS-SEM

Contenido

Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Contenido.....	vi
Lista de figuras.....	xiv
Lista de tablas.....	xv
Capítulo I Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento y definición del problema.....	8
1.2.1 Definición del problema.....	8
1.3 Justificación.....	10
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo General.....	10
1.4.2 Objetivos Particulares.....	11
1.5 Preguntas de investigación.....	11
1.5.1 Pregunta General.....	11
1.5.2 Preguntas Particulares.....	11
1.6 Delimitación de la investigación.....	11
1.6.1 Delimitación Geográfica.....	12
1.6.2 Delimitación Temporal.....	12
1.6.3 Delimitación Disciplinar.....	12
1.6.4 Delimitación Social.....	12
Capítulo II Marco Teórico.....	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.1.1 Electrónica.....	13
2.1.2 Industria 4.0.....	14
2.2 Teorías.....	18
2.2.1 Teoría basada en recursos.....	18
2.2.2 Teoría de gestión de cambio o cambios de proceso.....	20

2.3 Definición de variables.....	22
2.3.1 Definición de factores críticos de éxito.....	22
2.3.2 Definición de factores críticos de éxito en el contexto de la Industria 4.0.....	23
2.3.2.1 Definición de manufactura digital.....	23
2.3.3 Estudios de factores críticos de éxito.....	24
2.3.4 Dimensiones de factores críticos de éxito.....	33
2.3.4.1 Factores relacionados al cliente.....	33
2.3.4.2 Factores organizacionales.....	35
2.3.4.3 Factores culturales.....	38
2.3.4.4 Factores humanos.....	39
2.3.4.5 Factores de planeación.....	42
2.3.4.6 Factores tecnológicos.....	46
2.3.4.7 Factores operacionales.....	51
2.3.4.8 Factores externos.....	53
2.3.5 Definición de industria 4.0.....	62
2.3.6 Dimensiones de Industria 4.0.....	62
2.3.6.1 Medición del nivel de madurez y/o nivel de preparación.....	62
2.3.6.2 Modelos de Madurez en el contexto de Industria 4.0.....	63
2.3.6.2.1 Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital (DREAMY)...	63
2.3.6.2.2 Modelo de madurez de Industria 4.0 (Industry 4.0-MM).....	64
2.3.6.2.3 Modelo de madurez de Tecnología de Manufactura (<i>Manutech Maturity Model</i>).....	64
2.3.6.2.4 Modelo de madurez de Jæger y Halse.....	65
2.3.6.2.5 Modelo de madurez de Kermer-Meyer.....	65
2.3.6.2.6 Modelo de madurez de Klötzer y Pflaum.....	65
2.3.6.2.7 Estudio del grado de preparación hacia la Industria 4.0.....	66
2.3.6.2.8 Estudio de preparación para Industria 4.0.....	66
2.3.6.2.9 Evaluación del grado de preparación de SCN para la industria 4.0.....	67
2.3.6.2.10 Modelo de proceso de tres etapas.....	68
2.3.6.2.11 Modelo de madurez de tres etapas para la transformación a Industria 4.0	68

2.3.6.2.12 Modelo de Madurez de Integración de Sistemas en Industria 4.0 (SIMMI 4.0).....	69
2.3.6.2.13 Modelo de negocios para Industria 4.0.....	69
2.3.6.2.14 Modelo de Madurez Industria 4.0.....	70
2.3.6.2.15 Modelo de Madurez de Schumacher, Erol, y Sihh.....	71
2.3.6.2.16 Modelo de Preparación de Adopción en Manufactura.....	72
2.3.6.2.17 Modelo Impuls.....	72
2.3.6.3 Categorías del modelo de madurez propuestas.....	76
2.3.6.3.1. Productos y servicios.....	76
2.3.6.3.2 Clientes.....	77
2.3.6.3.3 Operaciones.....	77
2.3.6.3.4 Tecnología.....	78
2.3.6.3.5 Estrategia.....	80
2.3.6.3.6 Liderazgo.....	80
2.3.6.3.7 Sistema de gobierno (Gobernanza).....	81
2.3.6.3.8 Cultura.....	81
2.3.6.3.9 Capital humano.....	82
2.3.6.3.10 Organización.....	83
2.3.6.4 Niveles de madurez propuestos.....	86
2.3.6.5 Modelo de implementación de Industria 4.0.....	87
2.3.6.6 Impacto de la Industria 4.0.....	88
2.4 Modelo Ex-Ante y planteamiento de hipótesis.....	89
2.4.1 Modelo conceptual Ex-Ante.....	89
2.4.2 Planteamiento de hipótesis.....	90
2.4.2.1 Hipótesis general.....	91
2.4.2.2 Hipótesis particulares.....	91
2.5 Marco contextual.....	91
2.5.1 Estructura de la industria electrónica.....	91
2.5.1.1 Clasificación.....	91
2.5.1.2 Cadena Productiva.....	93
2.5.2 Participantes.....	94

2.5.2.1 Unidades económicas del ramo de la electrónica de Baja California.....	94
2.5.3 Estado de la Industria Electrónica en el mundo.....	95
2.5.3.1 Producción y Consumo Global de la Industria Electrónica.....	97
2.5.3.1.1 Producción.....	97
2.5.3.1.2 Consumo.....	98
2.5.3.2 Distribución Geográfica.....	99
2.5.4 Estado de la Industria Electrónica en México.....	100
2.5.4.1 Producción en México.....	102
2.5.4.2 Consumo en México.....	103
2.5.4.3 Comercio Internacional.....	104
2.5.5 Estado de la Industria Electrónica en Baja California.....	106
2.5.6 Industria 4.0.....	109
2.5.6.1 Las herramientas de la Industria 4.0.....	109
2.5.6.2 iniciativas Industria 4.0 en el mundo.....	111
Capítulo III Método.....	115
3.1 Enfoque y alcance.....	115
3.2 Diseño y tipo.....	116
3.3 Instrumento de investigación.....	117
3.3.1 Validación del instrumento.....	117
3.3.1.1 Validez de contenido.....	118
3.3.1.2 Confiabilidad del instrumento.....	118
3.3.1.3 Validez de constructo del instrumento.....	119
3.3.2 Escalas de las variables.....	121
3.3.2.1 Escala para medición de la madurez como Industria 4.0, MM-I40.....	122
3.3.2.1.1 Escala de medición de la madurez MM-I40, versión preliminar.....	122
3.3.2.1.2 Escala de medición de la madurez MM-I40, versión final.....	124
3.3.2.2 Escala para la medición de los factores críticos de éxito (FCE), 8FCE-I40.....	126
3.3.2.3 Escala para la medición del impacto de la Industria 4.0, IMP-I40.....	128
3.4 Población y muestra.....	129
3.4.1 Para la validación del instrumento.....	129
3.4.2 Para el estudio cuantitativo.....	129

3.5 Técnicas multivariantes.....	131
3.5.1 Modelos de ecuaciones estructurales.....	132
3.5.2 Modelos de ecuaciones estructurales basados en mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM).....	134
3.5.3 Modelo de medición y modelo estructural del modelado de ruta PLS-PM.....	135
3.5.4 Consideraciones sobre el tamaño de la muestra en PLS-SEM.....	136
3.5.4.1 Efecto del tamaño de la muestra.....	140
Capítulo IV Resultados.....	141
4.1 Características generales de los participantes.....	141
4.1.1 Opinión de los participantes respecto a la variable independiente: Factores Críticos de Éxito.....	145
4.1.2 Opinión de los participantes respecto a la variable dependiente: Industria 4.0.....	146
4.1.2.1 Medición de la madurez o grado de preparación para Industria 4.0.....	146
4.1.2.1.1 Estimación del grado de preparación/madurez de la Industria de B.C. como Industria 4.0.....	148
4.1.2.2 Impacto de la Industria 4.0.....	151
4.2 Análisis Inferencial.....	152
4.2.1 Análisis paramétrico.....	152
4.2.1.1 Coeficientes de correlación de Pearson (r).....	152
4.2.1.1.1 Relación entre factores críticos de éxito (FCE) y medición de la madurez (MM).....	152
4.2.1.1.2 Relación entre factores críticos de éxito (FCE) e impacto de la I4.0.....	157
4.2.1.1.3 Relación entre impacto de la I4.0 y medición de la madurez.....	158
4.2.3 Análisis de regresión lineal.....	160
4.2.3.1 Categorías de medición de la madurez.....	160
Para la obtención de los coeficientes estandarizados se probaron todas las categorías de la medición con los factores críticos de éxito, pero solo se obtuvo para alguna de ellos, que serían los factores que pueden predecir dicha categoría.....	160
4.2.3.1.1 Análisis de los factores críticos de éxito como predictores de la categoría productos y servicios.....	161

4.2.3.1.2	Análisis de los factores críticos de éxito como predictores de la categoría clientes.....	161
4.2.3.1.3	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría operaciones.....	162
4.2.3.1.4	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría tecnología.....	162
4.2.3.1.5	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría estrategia.....	163
4.2.3.1.6	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría liderazgo.....	163
4.2.3.1.7	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría gobernanza.....	163
4.2.3.1.8	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría cultura.....	164
4.2.3.1.9	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría capital humano.....	164
4.2.3.1.10	Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría organización.....	165
4.2.3.2	Categorías de impacto de la Industria 4.0.....	165
	Para la obtención de los coeficientes estandarizados se probaron todas las categorías del impacto con los factores críticos de éxito, los factores que pueden predecir dicha categoría son los incluidos en las tablas.....	166
4.2.3.2.1	Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto social	166
4.2.3.2.2	Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto ambiental.....	166
4.2.3.2.3	Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto organizacional.....	167
4.3	Análisis de las ecuaciones estructurales SEM.....	167
4.3.1	Aplicación de la metodología PLS-SEM.....	167
4.3.1.1	Especificación del modelo estructural.....	168

4.3.1.2 Especificación de los modelos de medición.....	168
4.3.1.3 Recolección y análisis de los datos.....	169
4.3.1.4 Estimación del modelo de ruta PLS.....	169
4.3.1.5 Evaluación de los resultados PLS-SEM de los modelos de medición con indicadores reflectivos y formativos.....	171
4.3.1.5.1 Análisis de las cargas.....	171
4.3.1.5.2 Evaluación de la consistencia interna.....	173
4.3.1.5.2.1 Coeficiente alfa de Cronbach.....	174
4.3.1.5.2.2 Fiabilidad compuesta.....	174
4.3.1.5.2.3 Valor ρ_A	174
4.3.1.5.3 Evaluación de la validez convergente.....	175
4.3.1.5.3.1 Cargas externas.....	175
4.3.1.5.3.2 Promedio de la varianza extraída <i>AVE</i>	179
4.3.1.5.4 Evaluación de la validez discriminante.....	179
4.3.1.5.4.1 Criterio de Fornell-Larcker.....	179
4.3.1.5.4.2 Cargas cruzadas.....	181
4.3.1.5.4.3 El Indicador <i>HTMT</i>	185
4.3.1.5.5 Resumen de los indicadores de fiabilidad del modelo de medición.....	187
4.3.1.6 Evaluación de los resultados PLS-SEM del modelo estructural.....	188
4.3.1.6.1 Evaluación de la colinealidad.....	189
4.3.1.6.1.1 Concepto de la multicolinealidad.....	189
4.3.1.6.1.2 Impacto de la multicolinealidad.....	189
4.3.1.6.1.3 Estimación de la multicolinealidad.....	189
4.3.1.6.1.3 Identificación de la multicolinealidad.....	192
4.3.1.6.1.4 Remedios para la multicolinealidad.....	193
4.3.1.6.1.6 Evaluación de la multicolinealidad en el modelo estructural.....	194
4.3.1.6.2 Evaluación de la significancia y relevancia de las relaciones del modelo estructural.....	196
4.3.1.6.3 Valoración del coeficiente de determinación R^2 (varianza explicada).....	198
4.3.1.6.4 Valoración de los tamaños de los efectos (f^2).....	200
4.3.1.6.5 Valoración de la relevancia predictiva valor Q^2	200

4.3.1.6.6 Valoración del tamaño del efecto q^2	202
4.4 Contraste de Hipótesis.....	204
4.4.1 Contrastación de las hipótesis del modelo SEM, H1 – H3.....	205
4.4.1 Contrastación de las hipótesis restantes, H4 – H6.....	206
Capítulo V Discusión.....	209
5.1 Discusión de los objetivos.....	209
5.1.1 Discusión del objetivo 1, FCE versus el grado de preparación/madurez.....	209
5.1.2 Discusión del objetivo 2, FCE versus impacto de la Industria 4.0.....	210
5.1.3 Discusión del objetivo 3, grado de preparación/madurez versus impacto de la Industria 4.0.....	212
5.1.4 Discusión del objetivo 4, nivel de preparación/madurez de la industria electrónica de B.C. como Industria 4.0.....	213
5.1.4.1 Discusión del objetivo 4: Medición de la madurez.....	213
5.1.4.2 Discusión del objetivo 4: Niveles de madurez.....	214
5.1.4.3 Discusión del objetivo 4: Resultados de la medición de madurez.....	215
5.1.5 Discusión del objetivo 5, FCE de la industria electrónica de B.C. para evolucionar como Industria 4.0.....	216
5.1.6 Discusión del objetivo 6, Impacto de la Industria 4.0 en la industria electrónica de B.C.....	219
Capítulo VI Conclusiones.....	221
6.1 Contribuciones a la teoría.....	223
6.1.1 Modelo de ruta (path) de primer orden.....	223
6.1.2 Confirmación de los FCE.....	224
6.1.3 Confirmación de categorías de la medición del nivel de madurez como Industria 4.0.....	227
6.1.4 Confirmación de categorías del impacto en la implementación como Industria 4.0.....	232
6.1.5 Validación de la relación de los FCE con el nivel de preparación/madurez.....	233
6.1.6 Validación de la relación de los FCE con el impacto de la Industria 4.0.....	234
6.1.7 Validación de la relación del nivel de preparación/madurez y el impacto de la Industria 4.0.....	234
6.2 Contribuciones a la práctica.....	234

6.2.1 Factores críticos de éxito.....	234
6.2.2 Medición del nivel de madurez como Industria 4.0.....	235
6.2.3 Impacto de la Industria 4.0.....	235
6.3 Limitaciones encontradas.....	235
6.4 Recomendaciones para futuras investigaciones.....	237
6.5 Nota final.....	239
Referencias.....	240
Apéndice A. Cuestionario para evaluación de los FCE, madurez e impacto de la Industria 4.0	256
Apéndice B. Enlace y capturas de pantalla del cuestionario.....	271
Apéndice C. Enlace y captura de pantalla del sitio web Industria 4.0 en B.C.....	272
Apéndice D. Enlace y captura de pantalla de la página de Facebook Industria 4.0 en Baja California.....	273

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Acontecimientos relevantes de la administración de operaciones relacionados a las revoluciones industriales.....	5
<i>Figura 2.</i> Modelo de transición a Industria 4.0.....	87
<i>Figura 3.</i> Etapas para la construcción del modelo de madurez.....	88
<i>Figura 4.</i> Modelo conceptual Ex-Ante propuesto a ser probado en esta investigación.....	90
<i>Figura 5.</i> Cadena productiva de la Industria Electrónica.....	93
<i>Figura 6.</i> Gráfica de la perspectiva de la producción y consumo mundial de la industria electrónica, 2014-2020 (mmd).....	99
<i>Figura 7.</i> Gráfica de los principales países exportadores de la Industria Electrónica, 2000.....	101
<i>Figura 8.</i> Gráfica de la perspectiva de la producción en México, 2014-2020 (mdd).....	103
<i>Figura 9.</i> Gráfica de la perspectiva del consumo en México, 2014-2020 (mmd).....	104
<i>Figura 10.</i> Industria 4.0.....	111
<i>Figura 11.</i> Ejemplo de un modelo de ruta (path) PLS-PM.....	136
<i>Figura 12.</i> Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica de B.C. por categoría.....	148

<i>Figura 13.</i> Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Ensenada por categoría.....	149
<i>Figura 14.</i> Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Tijuana por categoría.....	149
<i>Figura 15.</i> Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Tecate por categoría.....	150
<i>Figura 16.</i> Niveles de preparación para I4.0 de Baja California y ciudades participantes.....	151
<i>Figura 17.</i> Modelo estructural (teórico) del PLS-SEM.....	168
<i>Figura 18.</i> Modelo de medición del PLS-SEM.....	169
<i>Figura 19.</i> Estimación del modelo de ruta (<i>path</i>) del PLS-SEM.....	170
<i>Figura 20.</i> Varianza única y compartida de entre variables independientes correlacionadas....	190
<i>Figura 21.</i> Proporciones de varianza únicas y compartidas por niveles de multicolinealidad....	192
<i>Figura 22.</i> Diferencias entre variables latentes con indicadores reflectivos y formativos.....	195
<i>Figura 23,</i> Modelo PLS-SEM final.....	204
<i>Figura 24,</i> Modelo conceptual Ex-Post.....	207
<i>Figura 25.</i> Modelo de ruta (<i>path</i>) de primer orden (a) y de segundo orden (b).....	238

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Acontecimientos significativos de la administración de operaciones</i>	1
Tabla 2. <i>Dimensiones y FCE de la Estrategia Digital de Negocios</i>	24
Tabla 3. <i>Factores críticos de éxito (FCE) para la implementación de la manufactura digital</i>	26
Tabla 4. <i>Resumen de dimensiones y factores críticos de éxito</i>	29
Tabla 5. <i>Clasificación de FCE en categorías de factor</i>	32
Tabla 6. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores relacionados al cliente</i>	34
Tabla 7. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores organizacionales</i>	36
Tabla 8. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores culturales</i>	38
Tabla 9. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores humanos</i>	41
Tabla 10. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores de planeación</i>	45
Tabla 11. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores tecnológicos</i>	49
Tabla 12. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores de operacionales</i>	52
Tabla 13. <i>Factores críticos de éxito incluidos en factores externos</i>	56

Tabla 14. <i>Resumen de factores críticos de éxito de acuerdo con su categoría</i>	57
Tabla 15. <i>Modelos de madurez/preparación</i>	73
Tabla 16. <i>Categorías de evaluación del modelo de madurez propuesto</i>	75
Tabla 17. <i>Categoría: Productos y servicios</i>	76
Tabla 18. <i>Categoría: Clientes</i>	77
Tabla 19. <i>Categoría: operaciones</i>	78
Tabla 20. <i>Categoría: Tecnología</i>	79
Tabla 21. <i>Categoría: Estrategia</i>	80
Tabla 22. <i>Categoría: Liderazgo</i>	81
Tabla 23. <i>Categoría: Sistema de gobierno</i>	81
Tabla 24. <i>Categoría: Cultura</i>	82
Tabla 25. <i>Categoría: Capital humano</i>	82
Tabla 26. <i>Categoría: Organización</i>	83
Tabla 27. <i>Resumen de categorías de madurez</i>	83
Tabla 28. <i>Niveles de medición de la madurez y/o grado de preparación como I4.0</i>	86
Tabla 29. <i>Clasificación de la Industria Electrónica por subsector</i>	91
Tabla 30. <i>Unidades económicas de la Industria Electrónica</i>	94
Tabla 31. <i>Códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN 2013).</i>	94
Tabla 32. <i>Datos ordenados del comercio mundial en VA (Valor Agregado), 2011</i>	96
Tabla 33. <i>Datos del comercio mundial en VA (Valor Agregado), 2011, productos electrónicos desagregados</i>	96
Tabla 34. <i>Producción y consumo global (2014)</i>	97
Tabla 35. <i>Producción global por subsector de la Industria Electrónica, 2014</i>	98
Tabla 36. <i>Distribución de la producción mundial por región en la industria electrónica, 2014</i> . .	99
Tabla 37. <i>Consumo mundial por región de la industria electrónica, 2014</i>	100
Tabla 38. <i>Indicadores de la Industria Electrónica en México, 2014</i>	102
Tabla 39. <i>Participación por subsector en la producción (2014)</i>	103
Tabla 40. <i>Destinos de exportaciones de México, 2014</i>	104
Tabla 41. <i>Exportaciones de México del sector electrónico, 2014</i>	105
Tabla 42. <i>Inversión Extranjera Directa (IED) 2010-2016 (mdd)</i>	105

Tabla 43. <i>País de origen de Inversión Extranjera Directa (IED) 2016 (mdd)</i>	106
Tabla 44. <i>Distribución de la Industria Electrónica en Baja California</i>	106
Tabla 45. <i>Distribución del empleo de la Industria Electrónica en Baja California</i>	107
Tabla 46. <i>Origen de la inversión en la industria electrónica en Baja California</i>	108
Tabla 47. <i>Distribución por segmento de la industria electrónica</i>	108
Tabla 48. <i>Iniciativas 4.0 de diferentes países</i>	111
Tabla 49. <i>Alfa de Cronbach del instrumento</i>	118
Tabla 50. <i>Ítems con valores de correlación menor a 0.5</i>	118
Tabla 51. <i>Análisis de los componentes factoriales de cada ítem, obtenido por el método de rotación Varimax</i>	120
Tabla 52. <i>Número de ítems del modelo de medición del grado de preparación/madurez MM-I40, versión preliminar</i>	123
Tabla 53. <i>Número de ítems del modelo de medición del grado de preparación/madurez MM-I40, versión final</i>	125
Tabla 54. <i>Número de ítems de los factores críticos de éxito de la escala de medición 8FCE-I40</i>	127
Tabla 55. <i>Número de ítems del impacto de la industria 4.0, IMP-I40</i>	128
Tabla 56. <i>Recomendación del tamaño de muestra en PLS-SEM para una potencia estadística de 80%</i>	138
Tabla 57. <i>Tamaño de muestra sugerido para estudios de PLS-SEM</i>	138
Tabla 58. <i>Género de los participantes</i>	141
Tabla 59. <i>Empresas participantes en el estudio</i>	141
Tabla 60. <i>Ciudades participantes en el estudio</i>	142
Tabla 61. <i>Puesto laboral de los participantes</i>	143
Tabla 62. <i>Departamentos participantes en el estudio</i>	143
Tabla 63. <i>Estadísticas de antigüedad y edad de los participantes</i>	144
Tabla 64. <i>Número y porcentaje para opciones de la escala de Factores Críticos de Éxito, medidos de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo</i>	145
Tabla 65. <i>Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = nunca a 7 = siempre</i>	146

Tabla 66. Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = 0% a 7 = 100%.....	147
Tabla 67. Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = Portafolio de productos a 7 = Servicios basados en Big Data “datos como servicio” ...	147
Tabla 68. Número y porcentaje para opciones de la escala de Impacto, medidos de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo.....	151
Tabla 69. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores relacionados con el cliente y la medición de la madurez.....	152
Tabla 70. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores organizacionales y la medición de la madurez.....	153
Tabla 71. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre culturales y la medición de la madurez	154
Tabla 72. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores humanos y la medición de la madurez.....	154
Tabla 73. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores de planeación y la medición de la madurez.....	155
Tabla 74. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores tecnológicos y la medición de la madurez.....	155
Tabla 75. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores operacionales y la medición de la madurez.....	156
Tabla 76. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores externos y la medición de la madurez.....	157
Tabla 77. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores externos y el impacto de la I4.0.....	158
Tabla 78. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto social y medición de la madurez.....	159
Tabla 79. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto ambiental y medición de la madurez.....	159
Tabla 80. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto organizacional y medición de la madurez.....	160
Tabla 81. Coeficientes estandarizados para productos y servicios.....	161

Tabla 82. <i>Coefficientes estandarizados para clientes</i>	161
Tabla 83. <i>Coefficientes estandarizados para operaciones</i>	162
Tabla 84. <i>Coefficientes estandarizados para tecnología</i>	162
Tabla 85. <i>Coefficientes estandarizados para estrategia</i>	163
Tabla 86. <i>Coefficientes estandarizados para liderazgo</i>	163
Tabla 87. <i>Coefficientes estandarizados para gobernanza</i>	164
Tabla 88. <i>Coefficientes estandarizados para la categoría cultura</i>	164
Tabla 89. <i>Coefficientes estandarizados para la categoría capital humano</i>	165
Tabla 90. <i>Coefficientes estandarizados para organización</i>	165
Tabla 91. <i>Coefficientes estandarizados para el impacto Social</i>	166
Tabla 92. <i>Coefficientes estandarizados para el impacto Ambiental</i>	166
Tabla 93. <i>Coefficientes estandarizados para el impacto organizacional</i>	167
Tabla 94. <i>Evaluación de criterios para diferentes cantidades de ítems</i>	172
Tabla 95. <i>Estadísticos de la consistencia interna</i>	175
Tabla 96. <i>Carga y valores t de los indicadores para Factores Críticos de Éxito</i>	176
Tabla 97. <i>Carga y valores t de los indicadores para grado de preparación/medición de la madurez</i>	177
Tabla 98. <i>Carga y valores t de los indicadores para impacto de la Industria 4.0</i>	178
Tabla 99. <i>Análisis de varianza extraída de los constructos</i>	179
Tabla 100. <i>Validez discriminante (criterio Fornell – Larcker)</i>	180
Tabla 101. <i>Cargas factoriales cruzadas de los indicadores y variables latentes del modelo</i>	181
Tabla 102. <i>Validez discriminante de acuerdo con el criterio Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)</i>	186
Tabla 103. <i>Intervalos de confianza para el Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)</i>	186
Tabla 104. <i>Resumen de resultados del modelo de medición reflectivo</i>	187
Tabla 105. <i>Matriz de correlación de variables independientes e independiente</i>	190
Tabla 106. <i>Valores FIV del modelo estructural</i>	196
Tabla 107. <i>Resultados de la prueba de significancia de los coeficientes de ruta (path) del modelo estructural</i>	197
Tabla 108. <i>Resultados de la prueba de significancia de los efectos totales</i>	197
Tabla 109. <i>Evaluación de los coeficientes de determinación R²</i>	199

Tabla 110. <i>Evaluación de los efectos f^2</i>	200
Tabla 111. <i>Evaluación del valor Q^2</i>	201
Tabla 112. <i>Evaluación de los efectos q^2</i>	202
Tabla 113. <i>Valores para el coeficiente R^2, relevancia predictiva Q^2, tamaño del efecto f^2 y tamaño del efecto (q^2)</i>	203
Tabla 114. <i>Contrastación de las hipótesis del modelo SEM</i>	205

Capítulo I Introducción

En este capítulo se introduce el tema de la investigación, se hace el planteamiento del problema, la justificación, se describen los objetivos, general y particulares, así como las preguntas de investigación general y particulares y la delimitación de la investigación.

1.1 Introducción

La Administración de Operaciones (AO), ha estado marcada por una serie de eventos desde inclusive antes de que fuera considerada un área funcional de la empresa. Comenzó con la especialización del trabajo (1770s); pasó por la producción en masa y la administración científica (1910s), la manufactura esbelta, la automatización de las fábricas, y la administración total de la calidad (1980s); la planeación del recurso empresarial, la manufactura ágil, y la administración de la cadena de suministros (a partir de 1995; Chase, Jacobs, & Aquilano, 2007; Heizer & Render, 2004). Para llegar hasta nuestros días donde se habla de una cuarta revolución industrial (a partir de 2011). La tabla 1 muestra los acontecimientos significativos dentro de la administración de operaciones.

Tabla 1. *Acontecimientos significativos de la administración de operaciones*

Centrados en el costo:	<p>Primeros conceptos 1776-1880</p> <ul style="list-style-type: none">• Especialización del trabajo (Smith, Babagge)• Partes estandarizadas (Whitney) <p>Era de la administración científica 1880-1910</p> <ul style="list-style-type: none">• Gráfica de Gantt (Gantt)• Estudios de tiempos y movimientos (Gilbreth)• Análisis de procesos (Taylor)• Teoría de colas (Erlang) <p>Era de la producción en masa 1910-1980</p> <ul style="list-style-type: none">• Principios de administración científica (Taylor)• Psicología industrial (Los Gilbreth)• Líneas de ensamble móvil (Ford/Sorenesen)
------------------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Control de calidad (Shewhart) • Lote económico (Harris) • Programación lineal PERT/CPM (DuPont) • Planeamiento de requerimientos de materiales (varios) • Estudios de motivación de Hawthorne (Mayo, Tippet) • Uso extendido de las computadoras en las empresas (Fabricantes de computadoras) • Calidad y productividad en los servicios (McDonald's)
Centrados en la calidad:	<p>Era de la manufactura esbelta 1980-1995</p> <ul style="list-style-type: none"> • Justo a Tiempo/Kanban, (Ohno) • Automatización de fábricas: CIM, FMS, CAD/CAM, robots (disciplinas de ingeniería) • Manufactura sincrónica (Goldratt) • Intercambio electrónico de datos (varios) • Administración total de la calidad (Deming, Juran) • Premios Nacionales de calidad (NIST, ASQ) • Estándares de calidad internacionales (ISO, ASQ) • Delegación de autoridad (varios)
Centrados en la personalización:	<p>Era de la personalización masiva 1995-2010</p> <ul style="list-style-type: none"> • Globalización • Internet • Planeación del recurso empresarial • Organización que aprende • Programación finita • Administración de la cadena de suministro • Manufactura ágil, • Comercio electrónico
Centrados en costo, calidad y personalización:	<p>Cuarta revolución industrial 2011-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industria 4.0 – Alemania • Manufactura avanzada – Estados Unidos • Hecho en China 2025 – China

	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas ciberfísicos • Internet de las cosas (IoT) • Internet industrial de las cosas (IIoT) • Internet de los servicios (IoS) • Manufactura digital
--	---

Fuente: Elaboración propia en base a Chase et al. (2007), Heizer & Render (2004) y revisión de literatura.

De manera paralela a esta evolución histórica de la AO, se han desarrollado revoluciones industriales que han transformado a las sociedades en general y que han representado cambios en las actividades económicas preponderantes y en la forma de manufacturar productos, por lo que es pertinente describirlas a continuación.

La primera revolución industrial (1776) convirtió el trabajo artesanal por el cual se fabricaban todos los productos de uso diario, a un proceso industrializado, donde un trabajador solo hacía una parte del producto (Sentryo, 2017). Este cambio fue posible debido a la mecanización, un cambio en la estructura económica de la sociedad que pasó de una base agrícola a una base industrial (Idris, 2018; Germany Trade & Invest, 2017; Neugebauer, Hippmann, Leis & Landherr, 2016; Sentryo, 2017). Se creó un nuevo tipo de energía, con la combinación de la invención de la máquina de vapor y la masificación de la extracción del carbón. Esto permitió varios cambios que sentaron las bases de las fábricas y ciudades “modernas” (Idris, 2018; GTAI, 2017; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017).

La segunda revolución industrial (1870) se dio cerca de 100 años después de la primera. Y surgió debido a nuevas fuentes de energía: la electricidad; y el gas y petróleo (Idris, 2018; GTAI, 2017; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017). Como consecuencia de esto se desarrolló la máquina de combustión interna que impulsó cambios en muchas otras áreas como: la industria del acero; las telas sintéticas, tintas y fertilizantes (Sentryo, 2017). También representó la invención del telégrafo, el teléfono, el automóvil y el avión (Idris, 2018; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017). Todo esto fue posible debido principalmente a un nuevo modelo industrial basado en

fábricas grandes y modelos organizacionales de producción fundamentados en los modelos de Taylor y Ford (Idris, 2018; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017).

La tercera revolución industrial (1969) surgió con el inicio de una nueva fuente de energía mucho más poderosa que las anteriores, la energía nuclear (Sentryo, 2017). En esta etapa se dio la eclosión de la electrónica liderada por el transistor y el microprocesador que dieron pie a la emersión de las telecomunicaciones y las computadoras; estas nuevas tecnologías fueron el soporte a su vez de la investigación espacial y la biotecnología (Idris, 2018; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017). En la industria, esta revolución vio el estallido de una automatización de alto nivel de la producción debido a la invención de los controladores lógicos programables y de los robots (Idris, 2018; GTAI, 2017; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017).

La cuarta revolución industrial (2011) está sucediendo ahora y como las anteriores se construye a partir de la última revolución, en este caso de la tercera revolución y de la revolución digital que empezó a emerger a mediados del siglo pasado (Idris, 2018; Neugebauer et al., 2016; Sentryo, 2017). Esta cuarta revolución se distingue por la unión de tecnologías, que hace que se borren las líneas entre lo físico, lo digital y lo biológico para desarraigar completamente las industrias de todo el mundo (Sentryo, 2017; Viharos, Soós, Nick, Várgedő & Beregi, 2017). Estos cambios tienen un alcance y una profundidad tal que representan una transformación de sistemas completos de producción, gestión y gobernanza (Sentryo, 2017; Viharos et al., 2017). El “inicio” de esta revolución se dio en la feria de Hannover del 2011, que abrió una nueva era en la industria alemana, y de acuerdo con el proyecto presentado significaba que en el futuro productos inteligentes serían manufacturados en fábricas inteligentes (Viharos et al., 2017). Al igual que las revoluciones anteriores esta nueva revolución tiene una “fuente de poder” que alimenta los cambios, la cual es conocida como sistemas ciber-físicos que son una combinación de hardware y software (Davies, Coole, & Smith, 2017; Neugebauer et al., 2016). La cuarta revolución industrial a diferencia de las anteriores se caracteriza porque es una revolución ex-ante, desencadenada y promovida por el gobierno y varias iniciativas relacionadas, mientras que las tres anteriores revoluciones se han declarado como tales de manera ex-post (Erol, Schumacher & Sihm, 2016). En la figura 1, se relacionan los eventos significativos de la administración de operaciones con las revoluciones industriales.

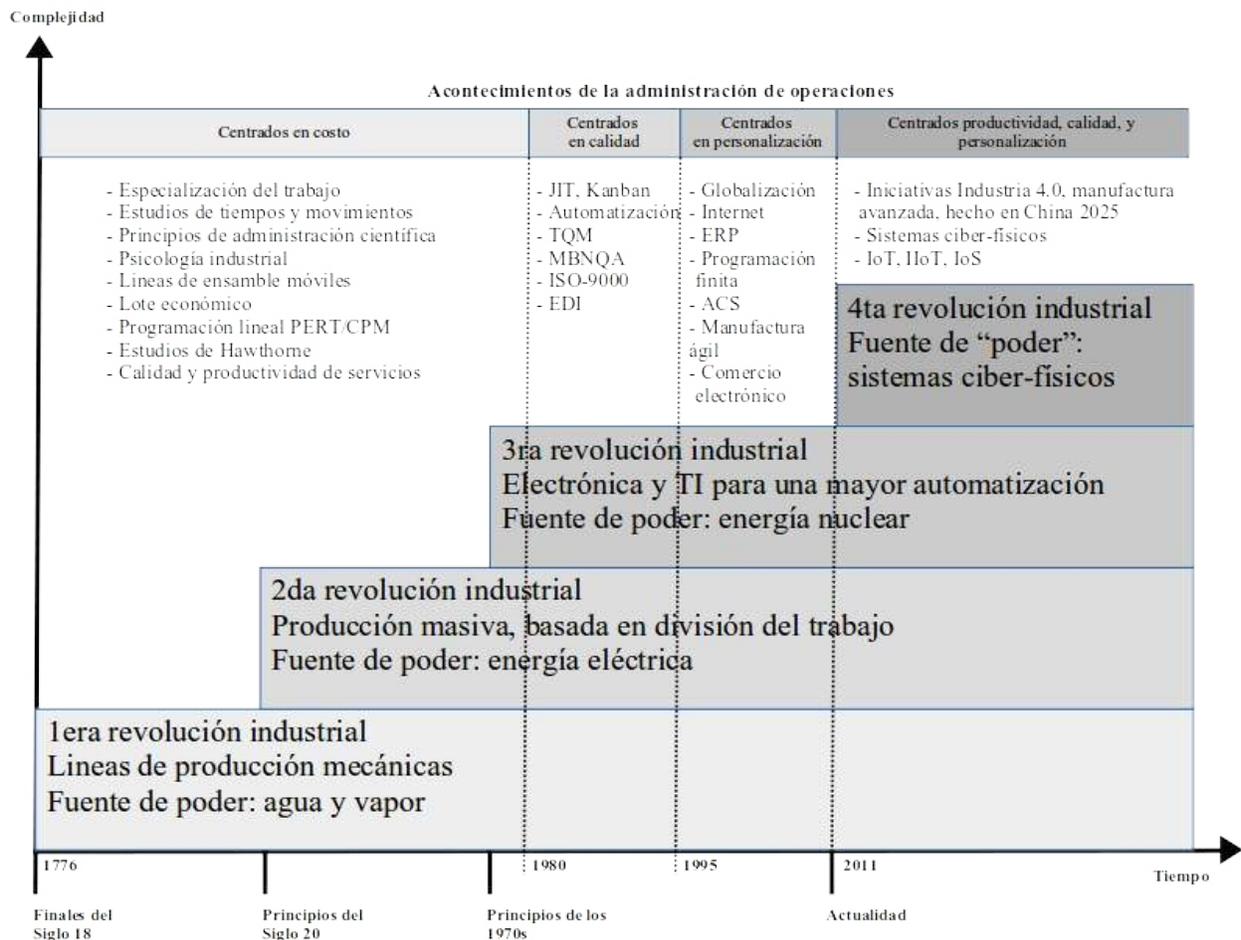


Figura 1. Acontecimientos relevantes de la administración de operaciones relacionados a las revoluciones industriales.

Nota 1. JIT = Justo a tiempo; TQM = administración total de la calidad; MBNQA = premio nacional de calidad Malcolm Baldrige; EDI = intercambio electrónico de datos; ERP = planeación de recursos empresariales; ACS = administración de la cadena de suministros.

Fuente: Elaboración propia basada en Gökalp, Şener & Eren (2017); Neugebauer et al. (2016); Henning (2013); Chase et al. (2007); Heizer & Render (2004).

En otro frente de ideas, existe un gran debate principalmente entre economistas respecto a la industrialización como motor del desarrollo económico de los países. Por ejemplo, Deane (1980) comenta que, en la teoría económica de desarrollo, la ruta de la afluencia se encuentra por medio de una revolución industrial, la cual define como un proceso continuo de crecimiento económico,

donde con excepción de periodos de guerras y desastres naturales, cada generación puede esperar disfrutar más altos niveles de producción y consumo que sus predecesores; precisa que dicho proceso está disponible solo para los países que se industrializan. Asimismo, en esta vertiente existen teorías de desarrollo atadas a la globalización como el extractivismo y neoextractivismo (Acosta, 2011; Svampa, 2011). Por otro lado, están las teorías que proponen otras alternativas al desarrollo convencional, como el postdesarrollo Acosta (2011), el buen vivir, Gudynas & Acosta (2011), entre otras.

La controversia y discusión sobre si las revoluciones industriales en general o la industrialización en particular, han representado o no un desarrollo homogéneo de los países, esta fuera del alcance de esta investigación. Sin embargo, en este trabajo si considera que incluye ciertos cambios identificables en los métodos y características de la organización económica, que al tomarse de forma conjunta, constituyen un desarrollo que podría describirse como una revolución industrial: amplio uso y aplicación sistemática de la ciencia moderna y del conocimiento empírico al proceso de producción para el mercado; especialización de actividad económica dirigida a la producción para mercados nacionales e internacionales, en lugar de usarse para consumo familiar o local (Deane, 1980).

Esta investigación está orientada a determinar lo que debe hacerse desde el punto de vista científico para que empresas de la industria electrónica de Baja California pueda evolucionar hacia la cuarta revolución industrial y/o insertarse en las cadenas productivas mundiales que laboren en este ambiente industrial.

El documento está organizado de la siguiente manera: Introducción (capítulo I); marco teórico, revisión de literatura de modelos previos, y contexto (capítulo II); metodología (capítulo III); resultados (capítulo IV); discusión (capítulo V); conclusiones y futuras investigaciones (capítulo VI).

En el capítulo I se hace una introducción a los antecedentes de la AO y de la denominada Industria 4.0. Se esbozan el problema de investigación, la justificación, los objetivos, las preguntas de investigación, y se hace una limitación y delimitación de la investigación.

En el capítulo II, se inicia con los antecedentes de la electrónica e Industria 4.0; se describen las teorías que dan soporte a la investigación; se definen las variables, empezando con una definición de factores críticos de éxito en lo general y posteriormente en el contexto de Industria 4.0; se presenta el concepto de manufactura digital; se describen los estudios realizados a los factores críticos de éxito en el contexto de industria 4.0, y se presentan las dimensiones de los mismos. Se incluye la definición de trabajo de Industria 4.0, se exhiben las dimensiones de Industria 4.0: medición de la madurez y/o grado de preparación, los modelos desarrollados a la fecha respecto de la medición del grado de preparación y/o madurez, las categorías de madurez y niveles de madurez propuestos en este estudio, modelos de implementación de Industria 4.0 y se cierra esta sección con el impacto de la industria 4.0. Se presenta el modelo Ex-Ante y planteamiento de hipótesis. Se hace una revisión del contexto iniciando con la descripción de la estructura de la industria electrónica, su clasificación, cadena productiva, participantes, estado de la industria electrónica, empezando con la perspectiva global hasta llegar a la estatal, en Baja California. Por último, se presentan las herramientas de la Industria 4.0 y el estado de ésta en diferentes países como: Alemania, Brasil, España, Italia, Estados Unidos, China y México.

En el capítulo III se describe el método utilizado para realizar la investigación: el enfoque, alcance, diseño y tipo de investigación. Continúa el capítulo con la operacionalización de las variables, se describe el instrumento, la medición y las escalas utilizadas, el muestreo utilizado, tanto para la corrida piloto como para el estudio final. Por último, se abordan las técnicas multivariantes, específicamente los modelos de ecuaciones estructurales.

En el capítulo IV se reportan los resultados: características de los participantes, opinión respecto a las variables dependientes e independiente, medición de la madurez e impacto de la Industria 4.0; análisis inferencial paramétrico de la relación y regresión lineal entre variables, ecuaciones estructurales del modelo de ruta (*path*) PLS; para cerrar el capítulo con el contraste de hipótesis.

En el capítulo V se realiza la discusión de la investigación objetivo por objetivo, comparándolos con los resultados de otros estudios, cuando estos estuvieron disponibles, evaluando si se cumplió o no la hipótesis planteada correspondiente.

En el capítulo VI Se discuten las conclusiones de la investigación, se describen las contribuciones a la teoría y a la práctica, las limitaciones encontradas y se hacen recomendaciones para futuras líneas de investigación relacionadas al tema.

1.2 Planteamiento y definición del problema

1.2.1 Definición del problema

La industria electrónica a pesar de ser una industria madura aún tiene mucha relevancia a nivel mundial y en México en particular. Sin embargo, enfrenta retos y desafíos propios. En lo particular, uno de los más difíciles es la “comoditización”, ya que implica por una parte lograr cierto nivel de diferenciación y al mismo tiempo mantener costos bajos (Ojo, 2014). Asimismo, comparte retos con otras industrias, entre los que se encuentran el aumento en las expectativas de servicio y calidad por parte de los clientes, el incremento de la volatilidad de precios de productos básicos y la mayor complejidad en relación con sus proveedores (Gyorey, Jochim & Norton, 2010).

Una alternativa para lograr un nivel de diferenciación alto y mantener los costos a un nivel bajo se encuentra en la incorporación a la cuarta revolución industrial. La encuesta global Industria 4.0 del 2016, elaborada por la empresa consultora PwC, encontró que, entre los beneficios de manufacturar en este ambiente, se incluyen ahorros estimados de costos operacionales del orden de 3.6% por año y ganancias anuales estimadas en 2.9% (Geissbauer, Vedso & Schrauf, 2016).

Por otro lado, Schumacher, Erol & Sihm, (2016) aseveran que las compañías de manufactura a nivel mundial están enfrentando retos substanciales debido a desarrollos recientes medioambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Agregan que para enfrentar estos retos las compañías de manufactura del futuro necesitarán contar con capacidades para manejar la

cadena de valor completa de una manera ágil y responsiva. Las tecnologías incluidas en la Industria 4.0 pueden ayudar a las compañías a enfrentar estos retos de una manera inteligente. Y la respuesta a la pregunta de ¿se debe adoptar o no la revolución digital que representa la industria 4.0?, es un “SI” definitivo, ya que representa mejoras en varios métricos claves como: la calidad, la flexibilidad y la productividad. Pero dicha respuesta no solo deriva de las ganancias potenciales, sino también de los costos implícitos de la no adopción, ya que históricamente se ha visto que las empresas que no adoptan o que ni siquiera reconocen tecnologías emergentes, como mínimo pierden competitividad y por ende participación de mercado, y en el peor de los casos desaparecen (Davies et al., 2017; Jäger, Schöllhammer, Lickefett, & Bauernhansl, 2016).

Por último, en el reporte “*Readiness for the Future of Production Report 2018*”, el Foro Económico Mundial clasifica a 100 países, en cuatro divisiones, de acuerdo con sus capacidades para adoptar los nuevos modelos de producción impulsados por la cuarta revolución industrial. Para medir el nivel de preparación, el reporte usa dos componentes: a) la estructura de la producción o la línea base de producción actual de un país; y b) los conductores de la producción, conformados por tecnología e innovación, capital humano, inversión y comercio global, marco institucional, producción sustentable, y entrono de la demanda. Clasifica a los países en cuatro categorías: la primera categoría es la de los líderes, aquellos países que cuentan con una base manufacturera robusta y están bien posicionados para el futuro; la segunda, es denominada legado, y en ella los países tienen una base manufacturera sólida, pero están en riesgo para el futuro (y entre estos países se encuentra México); la tercera incluye países de alto potencial, que tiene una base industrial limitada pero están posicionados bien para el futuro; Finalmente, la cuarta categoría, denominada nacientes, agrupa países que cuentan con una base manufacturera limitada y que además están en riesgo para el futuro (World Economic Forum & Kearny A.T., 2018).

De acuerdo con el mencionado reporte, México está en el lugar 22 en estructura de producción y en lugar 46 en conductores de la producción, si esto no cambia en el futuro mediato, México habrá perdido el tren de la cuarta revolución.

Por ello, en este trabajo de investigación se plantea como problema de investigación el siguiente: **Se desconocen los factores críticos de éxito y el grado de preparación o madurez de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia un contexto de Industria 4.0.**

1.3 Justificación

Esta investigación contribuirá en el avance de la Administración de Operaciones al analizar y evaluar las relaciones de los factores críticos de éxito, como predictores para la transición hacia la Industria 4.0 en la industria electrónica de Baja California. Para ello se analizará y se evaluará el grado de preparación o madurez de dicha industria, y el impacto tanto social como medioambiental de dicha transición. En la actualidad no se ha realizado ningún estudio de este tipo en Baja California, incluso tampoco en México.

Se busca concebir un modelo integral de factores críticos de éxito, que incluya todas las áreas esenciales para realizar la transición hacia la Industria 4.0. Que tanto la alta gerencia como otras áreas funcionales de las empresas, lo puedan utilizar como consulta o como base para desarrollar sus propios modelos de transición. Se espera crear un modelo de medición del estado de preparación o madurez, para que pueda ser usado por las empresas directamente o para crear su propio modelo y les ayude a realizar una transición exitosa.

Ya que el tema de Industria 4.0 es novedoso, esta investigación busca contribuir al avance del estudio científico del tema, ya que en la actualidad es dominado por los estudios realizados por empresas consultoras, y se requieren más estudios académicos sobre el tema (Viharos et al., 2017).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar si los factores críticos de éxito se relacionan con el grado de preparación o madurez, y con el impacto social, medioambiental y organizacional de la Industria 4.0.

1.4.2 Objetivos Particulares

1. Analizar la relación de los factores críticos de éxito con el grado de preparación o madurez para la Industria 4.0.
1. Analizar la relación entre los factores críticos de éxito con el impacto de la Industria 4.0.
2. Analizar la relación entre el grado de preparación o madurez con el impacto de la Industria 4.0.
3. Determinar el grado de preparación o madurez como Industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California.
4. Determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California.
5. Determinar si la Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C.

1.5 Preguntas de investigación

1.5.1 Pregunta General

¿Cuál es el grado de preparación de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia la Industria 4.0, cuáles son los factores críticos de éxito y cuál es el impacto social, medioambiental y organizacional?

1.5.2 Preguntas Particulares

1. ¿Cuál es la relación de los factores críticos de éxito con el grado de preparación o madurez para la Industria 4.0?
1. ¿Cuál es la relación de los factores críticos de éxito con el impacto de la Industria 4.0?
2. ¿Cuál es la relación del grado de preparación o madurez con el impacto de la Industria 4.0?
3. ¿Cuál es el grado de preparación de la industria electrónica de Baja California como Industria 4.0?
4. ¿Cuáles son los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California?
5. ¿Cuál es el tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional de la Industria 4.0 en la industria electrónica de B.C.?

1.6 Delimitación de la investigación

1.6.1 Delimitación Geográfica

El estudio se limita a las empresas dedicadas a la manufactura de productos electrónicos instaladas en el estado de Baja California.

1.6.2 Delimitación Temporal

La temporalidad de este estudio respecto al desarrollo del cuestionario, aplicación (trabajo de campo) y análisis de resultados, abarca desde principios de 2018 al tercer cuarto de 2019.

1.6.3 Delimitación Disciplinar

La disciplina de las ciencias administrativas cubierta en este trabajo es la administración de operaciones, aplicando las teorías de basado en recursos y capacidades; y la teoría de gestión de cambio.

1.6.4 Delimitación Social

Dentro de las empresas se contactará los supervisores, ingenieros, gerentes de mandos medios y altos de las empresas electrónicas.

Capítulo II Marco Teórico

En este capítulo se presentan los antecedentes de la electrónica, e industria 4.0, las teorías de las ciencias administrativas que dan soporte a la investigación: teoría basada en recursos y teoría de gestión de cambio. Las definiciones de las variables: factores críticos de éxito, manufactura digital y madurez. Estudios de factores críticos de éxito y modelos de madurez de Industria 4.0. Por último, las dimensiones de los factores críticos de éxito, categorías de modelo de madurez, niveles de madurez, modelo de implementación y e impacto de la Industria 4.0 generados a partir de esta investigación. También se revisa el marco contextual: estructura de la industria electrónica; participantes; estado de la industria electrónica global, nacional y estatal; herramientas de la Industria 4.0 y las iniciativas de algunos países.

2.1 Antecedentes

En esta sección se presentan los antecedentes de esta investigación, a saber: la electrónica por ser la industria electrónica donde se aplica; la Industria 4.0 como el concepto que recibe el foco del estudio.

2.1.1 Electrónica

La electrónica inicia su jornada desde tiempos antiguos, hace más de tres mil años, con el descubrimiento fortuito de la electricidad estática por un griego desconocido que frotó un trozo de tela con un “*elektron*” o ámbar (Cheung & Brach, 2014).

Por otro lado, se puede considerar que la historia de la electrónica tiene sus orígenes en el desarrollo de los tubos al vacío, en concreto del diodo (válvula termiónica) desarrollado por primera vez por Sir John Ambrose Fleming en 1904 (Jojo, 2012). Sin embargo, el triodo, desarrollado en 1906 por Lee De Forest, considerado a la postre “el padre de la radio” y “abuelo de la televisión” electrónica, fue lo que permitió el desarrollo de la transmisión de radio, la telefonía a larga distancia, la televisión y las primeras computadoras digitales (Fielding, 2017; Scace, 2016).

Posteriormente, el desarrollo del transistor en 1948 por John Barden, Walter H. Brattain y William B. Shockley de la Bell Telephone Company permitió la miniaturización de los aparatos electrónicos e inició la electrónica moderna (Haque, 2016; Jojo, 2012).

Otro invento importante fue el circuito integrado, desarrollado por Jack Kilby en *Texas Instruments* en 1958, y de forma paralela por Robert Noyce en 1959 (Nobelprize.org, 2014; Scace, 2016). Noyce es una figura clave en la Industria Electrónica, ya que fundó *Fairchild Semiconductor* en 1957 y más adelante *Intel* en 1968 junto con Gordon Moore, famoso por, entre otras cosas, haber promulgado la "Ley de Moore" que establecía que el número de transistores se duplicaría cada dos años (Bellis, 2017; Haque, 2016; Jojo, 2012).

En la actualidad la industria electrónica es una industria de gran importancia a nivel mundial, ya que además de los productos electrónicos tradicionales como: radio grabadoras, reproductores de sonido, televisión, teléfonos celulares, computadoras y otros productos de consumo, se ha expandido y se usa en muchas otras industrias como la automotriz, donde cada vez es mayor su dependencia de dispositivos electrónicos, como tableros, sensores, sistema de navegación, computadora, hasta llegar a ser posible los autos sin conductor. En la industria médica en dispositivos de diagnóstico, monitoreo y de soporte de vida. Y la industria aeronáutica y espacial no se concibe su desarrollo actual sin los dispositivos electrónicos.

2.1.2 Industria 4.0

Originalmente iniciado como una iniciativa del gobierno alemán en 2006, aunque no se identificó así en ese momento, es un concepto que se está adoptando cada vez más en todo el mundo, Industria 4.0 está destinada a mejorar dramáticamente la productividad empresarial mediante la captura, consolidación y análisis de datos a lo largo de todo el proceso de fabricación (Vassallo, 2017).

del Val (2016) nos dice que el término industria 4.0 fue creado en Alemania para hacer alusión a la transformación digital de la industria, esta transformación también es denominada "Fábrica Inteligente" o "Internet industrial". El término en si fue mencionado por primera en 2011 y

posteriormente se convirtió en una iniciativa estratégica del gobierno alemán en el plan que denominó “Plan de Acción Estratégica de Alta Tecnología 2020” (Davies et al., 2017).

Por lo tanto, el 4.0 se refiere a que estamos en los albores de la cuarta revolución industrial, esta revolución busca entregar productos altamente personalizados bajo las condiciones de producción en masa (Ergonomics, SF).

Industria 4.0 se refiere a la evolución tecnológica de sistemas embebidos a sistemas ciber-físicos; representa el arribo de la cuarta revolución industrial en la forma de Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), Internet de los Datos (*Internet of Data*, IoD) e Internet de los Servicios (*Internet of Services*, IoS) (GTAI, 2017). La interacción del mundo real y virtual representan un aspecto crucial nuevo en los procesos de manufactura y producción (GTAI, 2017).

Kiesel & Wolpers (2015) argumentan:

Industria 4.0 es un término colectivo para tecnologías y conceptos de organización de la cadena de valor. Dentro de la estructura modular de las fábricas inteligentes de la Industria 4.0, los sistemas ciber-físicos (CPS) monitorean procesos físicos, crean una copia virtual del mundo físico y toman decisiones descentralizadas. Sobre el IoT, los CPS se comunican y cooperan entre sí y con los seres humanos en tiempo real. A través de la IoS, tanto los servicios internos como interorganizacionales son ofrecidos y utilizados por los participantes de la cadena de valor. (p1).

Algunos autores como Dworschak & Zaiser (2014, p346) auguran que “...los CPS, con toda probabilidad significarán una reducción adicional de puestos de trabajo ya que estos pueden ser más fácil de automatizar con las nuevas tecnologías”.

Con procesos de fabricación inteligentes en el espíritu de la Industria 4.0, puede aumentar significativamente la eficiencia y adaptar las capacidades exactamente a la situación de orden respectiva; el objetivo es fabricar productos individualizados utilizando las estructuras de costos de la producción en masa, incluso para un solo lote (Wessels, 2017).

Es importante tomar en cuenta que el Internet de las Cosas (IoT) en los sistemas de producción industrial, también llamados IIoT (*Industrial Internet of Things*) y los Sistemas Ciber-Físicos en manufactura pueden considerarse como sinónimos (Dworschak & Zaiser, 2014)

La compañía consultora BCG (Boston Consulting Group, 2015) elaboró un reporte en abril del 2015 denominado “Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries” donde destaca lo siguiente:

- La conductividad e interacción entre partes, máquinas y humanos hará que los sistemas de producción sean hasta 30% más rápidos y 25% más eficientes y elevarán la personalización masiva a nuevos niveles.
- En Alemania, la Industria 4.0 puede llevar a ganancias de productividad del 5% al 8% de los costos totales de manufactura en los 10 próximos años, para un total de 90 a 150 mil millones de Euros.
- El impacto de la Industria 4.0 contribuirá en Alemania, con cerca del 1% del PIB en los 10 próximos años, crear tantos como 390,000 trabajos, y agregar 250 mil millones en inversiones en manufactura (o de 1% a 1.5% de las ganancias de los manufactureros).
- El cambio total a hacia la Industria 4.0 podría tomar 20 años en cristalizar, y en los próximos 5 a 10 años se establecerán avances claves y emergerán perdedores y ganadores.

Por su parte la empresa PwC emitió el reporte de una encuesta global “Industry 4.0: Building the digital enterprise”, realizada en el 2016, donde destaca:

En resumen, la Industria 4.0 está siendo impulsada por la digitalización y la integración de cadenas de valor verticales y horizontales, digitalización de la oferta de producto y servicios y el desarrollo de nuevos modelos de negocios digitales y plataformas de acceso al cliente (Geissbauer et al., 2016, p2)

De acuerdo con PwC detrás de bastidores de las compañías líderes de productos industriales se está llevando a cabo una profunda transformación digital. Esto incluye también al sector manufacturero industrial. Menciona el reporte que las compañías están digitalizado funciones

esenciales, verticalmente dentro de su cadena de valor interna y horizontalmente con sus socios a lo largo de la cadena de suministros. También están mejorando su portafolio de producto con funcionalidades digitales e introduciendo servicios innovadores basados en datos.

- Las compañías de manufactura industrial planean invertir 5% de sus ganancias anuales, en soluciones de operación digital en los próximos cinco años. Y están fijando planes ambiciosos para los niveles de digitalización e integración que pueden ser logrados.
- Muchas compañías ya están produciendo máquinas para cumplir con la visión de una fábrica conectada, usando el poder del Internet para ligar máquinas, sensores, computadoras y humanos. Para permitir nuevos niveles de monitoreo, recolección, procesamiento y análisis de información. Esto se suma a los productos y servicios que las empresas pueden ofrecer a sus clientes, ayudándolas a trabajar de manera colaborativa en el diseño de futuras máquinas y su entorno digital para mejorar el rendimiento.
- Una serie de tecnologías, incluida la robótica, la cobótica¹, la impresión 3D y la nanotecnología, tienen relevancia directa para muchas aplicaciones de manufactura industrial, mientras que otras tecnologías, como la realidad aumentada, pueden permitir a los fabricantes ofrecer a los clientes información en tiempo real y entrenamiento en el punto de uso.

Algunos de estos desarrollos, continua el reporte, están madurando ahora. Otros permanecen para el futuro. El nivel de adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 por compañías de manufactura industrial se está acelerando rápidamente. Las oportunidades de digitalización, integración y automatización que se ofrecen permiten a las empresas colaborar tanto internamente y a través de sus cadenas de valor de formas que pueden proporcionar un cambio significativo en productividad, así como en el diseño y la calidad. Y son oportunidades cada vez más importantes a medida que las empresas buscan mantenerse relevantes, mientras que se desarrolla la era de la infraestructura inteligente digitalmente conectada.

Los hallazgos relevantes de esta encuesta de PwC son:

1. La Industria 4.0 se ha movido de la charla a la acción. El nivel de digitalización ahora es de 35% y se espera que sea 76% en cinco años.

¹Cobótica: Cobot es un neologismo que está formado por las palabras “colaborativo” y “robot”. Por lo tanto, cobótica es la robótica colaborativa, un robot que trabaja en colaboración con un operador humano.

1. La digitalización está impulsando saltos cuánticos en el rendimiento. En los próximos cinco años esperan reducir costos operacionales en 3.6% anuales, e incrementos en las ganancias de 2.9% por año.
2. Profundizar las relaciones digitales con clientes más empoderados. El porcentaje de compañías de manufactura industrial que esperan ganancias de 10% o más en los próximos años en los siguientes productos o servicios digitales: Digitalización del portafolio existente de productos = 46%; Introducción de un portafolio nuevo de productos digitales = 53%; Servicios analíticos de Big Data a clientes externos = 39%; Otros servicios digitales a clientes externos = 40%.
3. Centrarse en la gente y la cultura para impulsar la transformación. La falta de cultura y formación digital es el mayor desafío que enfrentan las empresas de manufactura industrial (52%).
4. Analítica de datos y confianza digital son la base de Industria 4.0. La importancia de la analítica de datos se incrementará se un 54% actual a 88% en los próximos cinco años.
5. Las capacidades analíticas de datos robustas y a lo ancho de la empresa requieren cambios significativos. Sólo un 15% de las empresas tiene departamentos dedicados a hacer analítica de datos, mientras que el 7% no tienen capacidades significativas.
6. Inversiones grandes con impactos grandes y retornos rápidos. El retorno en inversión (ROI) esperado por las empresas es de: Dos años 51%; de dos a cinco años 42%; más de cinco años 6%.

2.2 Teorías

En esta sección se describen las teorías de las ciencias administrativas que dan soporte a la investigación.

2.2.1 Teoría basada en recursos

De acuerdo con Hitt, Xu & Carnes (2016) en los últimos años ha habido un mayor énfasis en el uso de la teoría en la investigación de la administración de operaciones, destacando la teoría basada en recursos (RBT, *Resource Based Theory*). Por su parte Killen, Jugdev, Drouin & Petit (2012) utilizan un término alterno denominado visión basada en recursos (RBV, *resource based view*) y aseveran que los RBV examinan como los recursos de una organización conducen a una

ventaja competitiva. Agregan que los RBV asumen que los recursos y capacidades son heterogéneos en organizaciones que compiten, y usa esta falta de uniformidad para explicar las diferencia en los niveles de éxito empresarial.

Los RBT son una idea dominante en la gestión estratégica, y se han hecho populares en otros campos como mercadeo y administración de operaciones. Su origen se remonta al trabajo de Edith Penrose (1959) en el campo de la economía, de ahí los investigadores de gestión estratégica convirtieron las ideas de Penrose para entender como las empresas creaban ventajas sobre sus rivales con sus estrategias (Hitt et al., 2016; Killen et al., 2012).

Uno de los objetivos de la investigación estratégica es determinar por qué algunas organizaciones son más exitosas que otras, y comprender los mecanismos que ayudan a algunas organizaciones a lograr y mantener una ventaja competitiva (Grant, 1999). La ventaja competitiva a su vez es la capacidad de una organización para crear más valor que sus rivales, y por lo tanto lograr un mayor retorno de la inversión (Barney & Hesterley, 2006). La ventaja competitiva sostenida requiere capacidades que brinden beneficios perdurables y no sean copiadas fácilmente por los competidores o se vuelvan obsoletas (Kwak & Anbari, 2009).

La RBT (RBV) sugiere que las empresas puedan crear y mantener ventajas competitivas mediante la recopilación e integración de recursos valiosos, raros, inimitables y no-sustituibles (VRIN, *valuable, rare, inimitable and non-substitutable*; Hitt et al., 2016; Killen et al., 2012). Algunos ejemplos de recursos estratégicos que pueden contribuir a la ventaja competitiva de las empresas son: derechos de propiedad intelectual, reputación, marca y cultura (Eisenhardt & Santos, 2002). Estos recursos estratégicos a su vez involucran un conocimiento tácito e implícito que está impregnado en habilidades únicas, conocimientos, recursos y formas de trabajo intangibles, que representan para las empresas fuentes de ventaja competitiva mayor que los recursos tangibles (Killen et al., 2012).

Barney (1991) sugiere que las empresas necesitan recursos valiosos y raros para obtener una ventaja competitiva, pero a fin de mantener esa ventaja en el tiempo, los recursos también deben ser difíciles de imitar y no sustituibles por los recursos de otras empresas. Esta explicación

simple, lógica y fácil de entender de RBT se ha convertido en el modelo más popular utilizado en la investigación de gestión estratégica.

2.2.2 Teoría de gestión de cambio o cambios de proceso

Un proceso se puede definir como la progresión u orden de los eventos en la existencia de una entidad organizacional a lo largo del tiempo. El cambio, un tipo de evento, es una observación empírica de la diferencia en forma, calidad o estado a lo largo del tiempo en una entidad organizacional (Van de Ven & Poole, 1995).

En un extenso estudio de literatura interdisciplinario, Van de Ven & Poole (1995), encontraron 20 diferentes teorías de proceso. De este estudio derivaron cuatro tipos ideales de teorías. a) Teorías teleológicas: asumen que las organizaciones son decididas y adaptables, y presenta el cambio como un ciclo de formulación de objetivos; implementación; evaluación; y aprendizaje. b) Teorías dialécticas: se enfocan en objetivos conflictivos entre diferentes grupos de interés, y explican la estabilidad y el cambio en términos de confrontación y el equilibrio de poder entre las entidades opuestas. c) Teorías de ciclo de vida: suponen que el cambio es un proceso que progresa a través de una secuencia necesaria de etapas que son acumulativas, en el sentido de que cada etapa contribuye una pieza al resultado final, y que cada etapa es un precursor necesario para la siguiente. d) Teorías evolutivas: postulan que el cambio procede a través del ciclo continuo de variación; selección; y retención, las variaciones simplemente suceden y, por lo tanto, no tienen un propósito, sino que son seleccionadas, sobre la base del mejor ajuste a los recursos disponibles y las demandas medio ambientales. La retención es la perpetuación y el mantenimiento de las formas de la organización que surgen de estas variaciones a través de las fuerzas de inercia y persistencia (Hayes, 2014).

Estas cuatro teorías de cambio de proceso ven el cambio como una serie de eventos, decisiones y acciones que están conectados en una especie de secuencia, pero difieren en términos del grado en que presentan el cambio como si siguieran ciertas etapas esenciales y la medida en que la dirección del cambio se construye o predetermina (Hayes, 2014).

Van de Ven & Poole (1995) abundan que hay cuatro características distintivas entre estas cuatro teorías: a) el proceso es visto como un ciclo diferente de eventos de cambio, b) este es regido por un mecanismo generador diferente, lo que los autores denominan “motor”, c) el cual actúa en una unidad diferente de análisis, y d) representa una forma diferente de cambio. Otra importante observación en este estudio es que las cuatro teorías (ciclo de vida, teleológica, dialéctica y evolutiva) son consideradas teorías ideales que rara vez son aplicadas de forma individual y que su aplicación usualmente combina dos, tres y hasta los cuatro “motores”.

A este respecto Hayes (2014) en su libro *“The theory and practice of change management”* en el capítulo 2, presenta un modelo de proceso de cambio basado en las teorías teleológica y dialéctica. Dicho modelo provee un marco conceptual con el propósito de identificar problemas que necesiten ser resueltos para asegurar los cambios deseados. Otros autores que han utilizado las teorías de Van de Ven & Poole han sido: Esnard C. (2017) en *“Accompagnement individuel et collectif du changement par le développement des compétences”*; Ralph (2018) en *“Toward Methodological Guidelines for Process Theories and Taxonomies in Software Engineering”*; De Leoz (2017) en *“Exploring the impacts of development methodologies on the collective action of information systems development project teams”*; y Saxena (2017) en *“Key Factors and Underlying Mechanisms for the Enterprise Systems Lifecycle in Public Service Organisations”* entre otros.

Este tema también ha sido estudiado desde el lado de la práctica, Mento & Dirndorfer (2002) estudiaron tres modelos de procesos de cambio: modelo orientado al nivel estratégico de ocho etapas de Kotter (1995); modelo de 10 etapas para nivel táctico de Jack (1991) y el proceso de aceleración de cambio de 7 etapas de GE Garvin (2000). Para desarrollar su modelo de 12 pasos a saber: 1. la idea y el contexto; 2. defina la iniciativa de cambio; 3. evalúe el clima para el cambio; 4. desarrolle un plan de cambio; 5. encuentre y cultive un patrocinador; 6. prepare su audiencia objetivo, los receptores del cambio; 7. cree el ajuste cultural – hacer que el cambio dure; 8. desarrolle y escoja un equipo de líder de cambio; 9. cree pequeñas victorias para motivar; 10. constante y estratégicamente comunique el cambio; 11. mida el progreso de su esfuerzo de cambio; y 12. integre las lecciones aprendidas.

2.3 Definición de variables

En esta investigación se están considerando solo dos variables. La variable dependiente que está representada por la Industria 4.0. Y la variable independiente que son los factores críticos de éxito FCE (Critical Success Factors, CSF) para la transición hacia la Industria 4.0.

2.3.1 Definición de factores críticos de éxito

Los factores críticos de éxito son un término de gestión que surgió en los años 60s del trabajo seminal de D. Ronald Daniel, “Crisis de la gestión de la información, *Management Information Crisis*”, donde expresaba que el sistema de información de la empresa se debería centrar en ‘factores de éxito’ (Khodaveysi, Mobarakabadi, & Slambolchi, 2016). Posteriormente Rockart (1979), en otro trabajo seminal agrego el término “factores” al introducir una nueva teoría para la definición de las necesidades de información gerencial, donde afirmaba que los factores críticos de éxito son un número limitado de áreas en las que los resultados satisfactorios permitirán que las organizaciones logren un desempeño competitivo, por otro lado, si los resultados no son satisfactorios las organizaciones no verán recompensados sus esfuerzos. Así que esas áreas deben de recibir por parte de la administración una atención cuidadosa y constante.

Boynton & Zmud (1984) dentro del mismo ámbito de sistemas de información gerencial (SIG) nos dicen que los factores críticos de éxito son aquellas pocas cosas que tiene que funcionar para tener éxito y son áreas a las que se debe prestar atención especial y continua para obtener un desempeño superior.

Con el transcurso de los años la metodología de los factores críticos de éxito (FCE) salió de la esfera de SIG para ser usado en una gran diversidad de áreas para ilustrarlo se describen algunos ejemplos como: Cooper & Kleinschmidt (1995) realizaron una evaluación comparativa (*benchmarking*) de los factores críticos de éxito en el desarrollo de nuevos productos; Volery & Lord (2000) estudiaron los factores críticos de éxito en la educación en línea; Bodle, Brimble, Weaven, Frazer, & Blue (2017) en factores críticos de éxito en la gestión sostenible de negocios indígenas en Australia; Samander, Siam, Basri, & Hamed (2017) en la aceptación de ERP en la industria aeronáutica de Arabia Saudita; López, Morales, Toledo, & Delgado (2009) en su estudio de factores críticos de éxito en la implementación de proyectos de mejora continua;

Junior, da Silva, & Pacifico (2017) estudiaron los factores críticos de éxito en entornos de fabricación de proyectos; Arsic (2017) hizo una revisión teórica de los factores clave del éxito del proyecto en pequeñas y medianas empresas familiares; Akhavan, Jafari, & Fathian (2006) estudiaron los factores críticos de éxito de los sistemas de gestión del conocimiento; y Doom, Milis, Poelmans, & Bloemen (2010) estudiaron los factores de éxito críticos para las implementaciones de ERP en las PYMES belgas.

En la actualidad el diccionario de negocios en línea BusinessDictionary.com (SF) define los factores críticos de éxito (CSF, critical success factors) como:

“Número limitado (generalmente entre 3 y 8) de características, condiciones o variables que tienen un impacto directo y grave en la efectividad, eficiencia y viabilidad de una organización, programa o proyecto. Las actividades asociadas con los factores críticos de éxito se deben realizar al más alto nivel posible de excelencia para lograr los objetivos generales previstos. También se les denomina factores clave de éxito (KSF, key success factors) o áreas clave de resultados (KRA, key result areas)” (sp).

2.3.2 Definición de factores críticos de éxito en el contexto de la Industria 4.0

En el contexto de Industria 4.0 los factores críticos de éxito definen algunas acciones y funciones de una compañía que son críticos para el éxito de la empresa. Sin embargo, estos factores no le darán a la empresa una ventaja competitiva, sin embargo, la falta de estos factores llevará a una pérdida de dicha ventaja competitiva (Holotiuk & Beimborn, 2017). La definición de trabajo de factores críticos de éxito es:

Para este estudio los factores críticos de éxito son las acciones y funciones que si se ejecutan en su nivel más alto de desempeño permitirán a la empresa evolucionar hacia la Industria 4.0, mientras que, si se realizan en el nivel más bajo de desempeño o no se realizan, dejarán a la empresa en desventaja para poderse incorporar a la cuarta revolución industrial. (Jacquez-Hernández, Torres, & Rivas, 2020, p58)

2.3.2.1 Definición de manufactura digital

La definición de manufactura digital usada es lo que llaman el concepto extendido de la manufactura digital que incluye a los siguientes aspectos: desarrollo del diseño de un producto en plataformas digitales, produce y simula prototipos basados en planeación y análisis de proceso, también incluye el análisis, procesamiento y recolección y reporte en tiempo real de la planeación de la producción, de la planta e integración con las partes interesadas (Shinohara, Da Silva, De Lima, Deschamps, & Da Costa, 2017).

La principal ventaja de usar manufactura digital es que la empresa puede cumplir sus objetivos de calidad, entrega y costo en el mundo digital, mejorando todos sus procesos y solo cuando el producto ha sido producido con éxito en la fábrica digital se libera para su producción física (Shinohara et al., 2017).

2.3.3 Estudios de factores críticos de éxito

Los siguientes autores han realizado estudios de factores críticos de éxito relacionados a la Industria 4.0.

Hofmann & Rüsç (2017), señalan en las conclusiones de su trabajo que la disponibilidad de tecnología, grado de digitalización, capacidades y educación de la fuerza de trabajo se podrían considerar como factores críticos de éxito (FCE).

Holotiuk, & Beimborn (2017), por su parte identificaron 40 FCE agrupados en 8 dimensiones: Ventas y experiencia del cliente (6); organización (7); cultura y liderazgo (8); capacidades y competencias de recursos humanos (6); previsión y visión (5); datos y Tecnologías de la Información (TI) (4); operaciones (4); socios (2). Los FCE se pueden ver en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones y FCE de la Estrategia Digital de Negocios

Ventas y experiencia del cliente		Organización
Canales sin conexión (físicos) y en línea (digitales) integrados sin problemas	1	Agilidad para reasignar recursos y reorganizar rápidamente
Digitalización de interacción con el cliente y	2	Gestión del cambio para un cambio radical y

productos y servicios	rápido
Análisis sistemático (analytics) para personalizar y crear productos y servicios	3 Organización de varios niveles y varias velocidades para una reacción más rápida
Contacto directo para 'centricity' del cliente	4 Alineación organizacional hacia lo digital
Integración del cliente con la innovación abierta	5 Orientación a largo plazo, pero sprints cortos e intensos para cambiar
Excelente experiencia y satisfacción del cliente	6 Separación organizacional hacia la escisión (Spin-off)
	7 Toma de decisiones esbelta
Cultura y liderazgo	Capacidades y competencias de RH
Crear y fomentar la mentalidad digital con una agenda digital	1 Capacidad para reinventar la cadena de valor y desafiar el estatus quo
Conjunto común de valores con creación digital como valor	2 Habilidades digitales, know-how y talento
Aceptar el fracaso y alentar a los nuevos a crecer exitosamente	3 Capacidades y activos nuevos
Innovación y cultura adaptativa con objetivos evolutivos	4 Capacidad para diseñar nuevos modelos de negocios
Compromiso con la transformación en estrategia y cultura	5 Los líderes deben identificar recursos humanos potenciales
Replanteamiento de roles de nivel C (CDO, CIO)	6 Adquirir, retener y atraer nuevos talentos
Previsión y visión	Datos y TI
Establecer una visión clara con el posicionamiento futuro	1 Usa datos e información de la fuente central
Estrechos lazos de retroalimentación y aspiración a mejoras	2 Roles fundamentalmente diferentes de TI con TI de dos velocidades

Establecer una visión clara con el posicionamiento futuro	1	Usa datos e información de la fuente central
Fomentar la innovación más rápida / creación rápida de prototipos	3	Procesamiento de datos en tiempo real y en gran escala
Mirar lo que está poniendo en izquierda y derecha	4	Plataforma de TI modular
Experimentación audaz	5	
Operaciones		Socios
Proceso basado en datos y automatizado digitalmente	1	Efectos de red con sistemas abiertos e integración de socios
No solo cambian los modelos de negocio sino también los modelos operativos	2	Socios externos
Mezcla de recursos humanos y digitales	3	
Proporcionar recursos financieros	4	

Fuente: Holotiuk & Beimborn (2017).

Semolic & Steyn (2017), identificaron primero como competencias habilitantes críticas a los proyectos colaborativos y gestión concomitante de proyectos y programas. Después como ambiente emergente de negocios a organizaciones virtuales de socios especializados innovadores, vibrantes, flexibles de alto rendimiento. Finalmente al mejora de sus recursos operacionales y potencial innovador como factores críticos de éxito.

Shinohara et al. (2017) determinaron las siguientes dimensiones y FCE: técnicos (13); organizacionales (11); gestión de proyecto (6); externos (4). Estos se muestran en detalle en la tabla 3

Tabla 3. *Factores críticos de éxito (FCE) para la implementación de la manufactura digital*

Categoría	#	FCE para la implementación de la manufactura digital en un
-----------	---	--

contexto de Industria 4.0

Técnicos	1	Interoperabilidad de la gestión de datos relacionada con la gestión de datos (migración de datos, gestión de la información, extensiones de archivos diferenciadas) y la integración de herramientas y sistemas
	2	La velocidad del sistema operativo y la configuración fácil del software
	3	Datos en tiempo real
	4	Infraestructura e instalaciones para el proyecto (habitaciones, computadoras, redes)
	5	Arquitectura del sistema que admite datos de IoT
	6	Conectividad
	7	Capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y toma de decisiones
	8	Robótica avanzada
	9	Seguridad cibernética
	10	Trazabilidad
	11	Automatización logística
	12	Soporte técnico para herramientas MD (Manufactura Digital)
	13	Disponibilidad de herramientas colaborativas
Organizacionales	14	Conocimiento del usuario
	15	Programas de capacitación (equipo de proyecto, equipo de soporte y usuarios)
	16	Tomadores de decisiones capacitados y autorizados (agilidad en las decisiones)
	17	Apoyo y compromiso continuo de la alta dirección
	18	Análisis económico y de rentabilidad
	19	Gestión centralizada de productos, procesos y recursos

	20	Diseño dinámico de procesos de negocios e ingeniería
	21	Ser una empresa atractiva que busca los mejores recursos disponibles
	22	Respuestas rápidas a los desarrollos tecnológicos del mercado
	23	Cultura impulsada por la innovación
	24	Gestión de la carga de trabajo para permitir actividades de innovación
Gestión de Proyecto	25	Estrategia de implementación (comunicación, planificación, alcance, objetivos, roles, responsabilidades, gestión del cambio y soporte)
	26	Adhesión, compromiso y participación de los empleados
	27	Organizaciones colaborativas con equipos de auto entrenamiento
	28	Composición del equipo del proyecto
	29	Comunicación interna y externa
	30	Modelo de investigación y desarrollo
Externos	31	Socios con conocimiento y experiencia
	32	Aspectos gubernamentales
	33	Integración con proveedores externos
	34	Mayor enfoque al cliente

Fuente: Shinohara et al. (2017).

Los siguientes autores identificaron diferentes factores críticos de éxito: Wessels (2017) la seguridad en la empresa; Kim & Kim (2016) el modelo de negocios; Gabriel & Pessl (2016) y Harting (SF) a la gente o empleados. Gabriel & Pessl (2016) adicionalmente identificaron habilidades específicas como: inteligencia, creatividad, empatía y flexibilidad, mientras que Dworschak & Zaiser (2014) identificaron: habilidades técnicas y competencias interdisciplinarias como factores críticos de éxito.

Buhr (2015) identificó en el prefacio de su reporte como factores de éxito: conocimiento experto; flexibilidad; creatividad; innovación; convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación. Jäger et al. (2016), no identificaron FCE sino Retos de Industria 4.0: infraestructura, costos de inversión, seguridad IT, demanda del cliente, modelo de negocios, habilidades de los empleados, certeza legal, nuevas tecnologías, nuevos competidores. Y como principios de introducción de la Industria 4.0 a: arquitectura modular, calidad de los datos, maquinaria de cooperación indirecta, adaptación por imitación.

Otro autor que lista retos de la Industria 4.0 fue Bettenhausen (2014), y estos fueron: beneficios ilustrados, usuarios convencidos, seguridad de TI garantizada. Este autor también encontró que la calificación del personal, la velocidad de implementación e infraestructura como factores críticos de éxito. Herterich, Uebernicketel, & Brenner (2015) en la implementación de sistemas ciber-físicos, encontraron como factor de éxito a la concreción de valor efectivo.

Por último, Berger (2014) en su reporte definió como estrategias de éxito industrial a: innovación, automatización, procesos sofisticados. Como Industria 4.0 exitosa a: servicios digitales (subcontratados) de alta calidad, una infraestructura digital integral a prueba de fallas. Y propuso el desarrollo de líderes en soluciones Industria 4.0 a los siguientes elementos: innovación acelerada, desarrollo de campeones futuros, establecer un entorno digital dinámico.

La tabla 4 muestra un resumen de los estudios utilizados para la determinación de los factores críticos de éxito, y muestra el modelo o estudio y si determinaron dimensiones o categorías y factores críticos de éxito.

Tabla 4. *Resumen de dimensiones y factores críticos de éxito*

No.	Autor	Año	Modelo/Estudio	Dimensión/FCE
1	Hofmann & Rüschi	2017	Factores Críticos de Éxito sugeridos	Disponibilidad de tecnología, grado de digitalización, capacidades y educación de la fuerza de trabajo,

2	Holotiuk, & Beimborn	2017	Factores Críticos de Éxito para Estrategia de Negocios Digital	Ventas y experiencia del cliente (6); Organización (7); cultura y liderazgo (8); capacidades y competencias de RH (6); previsión y visión (5); datos y TI (4); operaciones (4); socios (2)
3	Semolic & Steyn	2017	Competencias habilitantes críticas	Proyectos colaborativos y gestión concomitante de proyectos y programas
			Ambiente emergente de negocios	organizaciones virtuales de socios especializados innovadores, vibrantes, flexibles de alto rendimiento
			Críticos para el éxito	mejora de sus recursos operacionales y potencial innovador
4	Shinohara et al.	2017	Categorías	Técnicos (13); organizacionales (11); gestión de proyecto (6); externos (4)
5	Wessels	2017	Factores críticos de éxito	Seguridad
6	Gabriel & Pessl	2016	Implementación de IT	Gente
			Habilidades de la gente	Inteligencia, creatividad, empatía, flexibilidad
7	Jäger et al.	2016	Retos de Industria 4.0	Infraestructura, costos de inversión, seguridad IT, demanda del cliente, modelo de negocios, habilidades de los empleados, certeza legal, nuevas tecnologías, nuevos

			Principios de introducción de I4.0	competidores Arquitectura modular, calidad de los datos, maquinaria de cooperación indirecta, adaptación por imitación
8	Kim & Kim	2016	Factores críticos del éxito	Modelo de negocios
9	Buhr	2015	Factores críticos del éxito	Conocimiento experto; flexibilidad; creatividad; innovación; convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación
10	Herterich et al.	2015	Implementación de sistemas ciberfísicos	co-creación de valor efectivo
11	Berger	2014	Estrategias de éxito industrial Industria 4.0 exitosa Desarrollo de líderes en soluciones Industria 4.0	Innovación, automatización, procesos sofisticados Servicios digitales (subcontratados) de alta calidad, una infraestructura digital integral a prueba de fallas Innovación acelerada, desarrollo de campeones futuros, establecer un entorno digital dinámico
12	Bettenhausen	2014	Factores de éxito (<i>Erfolgsfaktoren</i>) Retos de Industria 4.0	Calificación, velocidad, infraestructura beneficios ilustrados, usuarios convencidos, seguridad de TI garantizada
13	Dworschak &	2014	Implementación de sistemas ciber-	Habilidades técnicas,

Zaiser	físicos	competencias interdisciplinarias
14 Harting	SF Factores críticos de éxito	Empleados

Fuente: Elaboración propia.

En base a los estudios de Holotiuk, & Beimborn (2017) enfocados en factores de éxito de la estrategia de negocios digital (DBS, *Digital Business Strategy*) y Shinohara et al. (2017) orientado a factores críticos de éxito para la implementación de fabricación digital en el contexto de la industria 4.0, se identificaron ocho dimensiones o categorías: factores relacionados al cliente; factores organizacionales; factores culturales; factores humanos; factores de planeación; factores tecnológicos; factores operacionales; y factores externos. Posteriormente los factores críticos de éxito identificados en la revisión de literatura se agruparon en cada una de estas categorías, ver tabla 5, y en la siguiente sección esta la descripción detallada de cada categoría o dimensión y sus respectivos factores críticos de éxito.

Tabla 5. Clasificación de FCE en categorías de factor

Autores	Factores							
	RC	OR	CU	HU	PL	TE	OP	EX
Hofmann & Rüsck				3		1, 2		
Holotiuk, & Beimborn	1	2	3	4	5	6	7	8
Semolic & Steyn				7	1, 2		6	3, 4, 5
Shinohara <i>et al.</i>		2			3	1		4
Wessels						2	1	
Gabriel & Pessl				1, 2, 3, 4, 5				
Jäger et al.	4			6	5	1, 2, 3, 8, 10, 11, 13	12	7, 9

Kim & Kim					1			
Buhr				1, 2, 3, 4			5	
Herterich et al.						1		
Berger					6,7		1, 2, 3, 5	4, 8
Bettenhausen				1	2	4		3
Dworschak & Zaiser				1.2				
Harting				1				

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Relacionados al cliente (RC), organizacionales (OR); culturales (CU), humanos (HU); de planeación (PL), tecnológicos (TE); operacionales (OP) y externos (EX)

Nota 2: El número en cada casilla es el número dentro de cada estudio asignado a una dimensión o factor.

2.3.4 Dimensiones de factores críticos de éxito

2.3.4.1 Factores relacionados al cliente

En esta categoría están agrupados la dimensión de ventas y experiencia del cliente que se enfoca en una integración transparente entre canales en línea (digital) y fuera de línea (físico). En el futuro el canal de ventas más significativo será por medio de dispositivos móviles y requiere una presencia cohesiva a través de todos los canales ya que se busca unir los mundos digitales y físicos por medio de una integración de experiencia en línea y fuera de línea. Esto permitirá brindar una experiencia del cliente transparente (Holotiuk, & Beimborn, 2017). La digitalización de la interacción con el cliente y productos y servicios se obtiene al aplicar realidad aumentada, tecnologías enfocadas en el cliente, y un viaje digital de decisión del cliente, esto lleva a obtener ideas enriquecidas de datos sobre los clientes.

En el momento que los productos y servicios se están digitalizando se requiere que las empresas las mejoren con extensiones digitales, como un acceso permanente a ellas a través de un canal digital. Como resultado se tienen que permitir que cada producto (físico) sea aumentado con un servicio digital (Holotiuk, & Beimborn, 2017). La mayor disponibilidad del cliente hace que el análisis para personalizar y crear productos y servicios sea una necesidad absoluta con DBS,

donde los mensajes de los clientes se personalizan según las preferencias y se enriquecen con datos contextuales. Los productos se ajustan constantemente para reflejar mejor las necesidades del cliente. Con el contacto directo para la centralización del cliente, las empresas establecen conexiones más profundas entre las marcas y los clientes, y ejecutan la atención al cliente desde todas las unidades de negocios a través de canales digitales. Las empresas deben evitar a terceros y mantener relaciones con los clientes de forma no inmediata para establecer una conexión de marca duradera y emocionalmente afectada.

Las empresas adoptan una perspectiva de "afuera hacia adentro", internalizan el punto de vista del cliente y los clientes se convierten en el eje central de la prestación de servicios digitales (Holotiuk, & Beimborn, 2017). La demanda del cliente en el mercado, la aceptación del mercado caracteriza la manera en que las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 se pueden establecer de manera constante y rápida en el mercado. Además de la disponibilidad de tecnología pura en el mercado, otros dos factores esenciales son cruciales para la rápida difusión de las tecnologías: reconocimiento del valor agregado y confianza en la nueva tecnología por parte del usuario potencial. Se requiere que las empresas desarrollen productos innovadores ya que si solo siguen la demanda de los clientes al desarrollar sus productos permanecerán en el rol de seguidores. Más importante que distinguir entre las tecnologías convencionales y las tecnologías de la Industria 4.0, es que las empresas desarrollen una competencia alta en el mercado (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

La tabla 6 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores relacionados al cliente.

Tabla 6. *Factores críticos de éxito incluidos en factores relacionados al cliente*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk, & Beimborn (2017)	Ventas y experiencia del cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Canales sin conexión (físicos) y en línea (digitales) integrados sin problemas • Digitalización de interacción con el cliente y productos y servicios • Análisis sistemático (analytics) para

- personalizar y crear productos y servicios
- Contacto directo para centrarse (centricity) en el cliente
- Integración del cliente con la innovación abierta
- Excelente experiencia y satisfacción del cliente

Jäger et al., (2016)

N/A

- Demanda del cliente

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.2 Factores organizacionales

La organización se centra en la agilidad para reasignar recursos y reorganizarse rápidamente. La agilidad es una parte integral, o 'en el ADN' de DBS, que requiere que las empresas personalicen la organización a las circunstancias cambiantes. DBS se basa en la agilidad de la organización para permitir una adaptación rápida mediante la colaboración a través de los límites organizacionales no previstos. La liquidez organizativa permite a las empresas cambiar las empresas a medida que las necesidades del cliente cambian, lo que requiere nuevas BM, modelos operativos ágiles y la capacidad de escalar con rapidez y aprender rápidamente. La gestión adecuada del cambio para un cambio radical y rápido prepara a los empleados para los cambios inmediatos y establece un nuevo rumbo en la organización. La narración de cuentos se puede utilizar para transmitir la "historia digital" y obtener la aceptación de los empleados, estimular el orgullo y consolidar la transformación digital. Se necesita una organización multinivel y multivelocidad para una reacción más rápida para permitir que las organizaciones ambidexas renueven el núcleo e innoven el exterior. Como resultado, las empresas pueden responder rápidamente a la demanda de los clientes mientras equilibran las restricciones internas con la velocidad necesaria para una reacción más rápida. La alineación orgánica hacia lo digital se usa para establecer un equipo dedicado para apoyar las oportunidades de negocios digitales y desarrollar la gobernanza digital para alinear las actividades digitales fragmentadas. Las transformaciones digitales por unidades individuales deben estar alineadas con la organización, cultura y tecnología de la empresa. La separación organizativa, como los spin-offs, permiten a las subempresas centradas digitalmente con una ventaja competitiva separada. La empresa

corporativa es un catalizador para las plataformas digitales y el crecimiento de las divisiones sin restricciones mediante el uso de arquitecturas comerciales variables (Holotiuk, & Beimborn, 2017).

La dimensión organizacional incluye aspectos tales como estimaciones, planificación, control y comunicación (Shinohara et al., 2017). La planificación de los programas de capacitación también fue un problema crítico en la empresa, ya que se citó 5 veces y fue la causa raíz de otras dificultades reportadas, como la falta de conocimiento técnico y la baja productividad. El alto tiempo requerido para el aprendizaje está influenciado por la complejidad de las herramientas de manufactura digital. Para resolver este problema, los gerentes deben planear mejor la carga de trabajo de los empleados para permitir la adaptación de nuevas tecnologías. El FCE relacionado con el tema financiero influye en varias dificultades enumeradas. La falta de infraestructura apropiada, la necesidad de capacitación especializada, las personas calificadas que trabajan en el proyecto y las licencias limitadas reflejan la planificación financiera de la organización. Los problemas relacionados con la gestión estratégica organizacional se encuentran en las barreras culturales y la burocracia en la toma de decisiones. La cultura debe ser impulsada por la innovación y los empleados deben participar en este proyecto. Además, la toma de decisiones debe ser ágil para mantenerse al día con las tecnologías constantes que provienen del escenario actual (Shinohara et al., 2017).

En resumen, las causas de la baja productividad pueden ser: (i) falta de capacitación especializada, (ii) falta de comunicación del alcance del proyecto para todos los interesados, (iii) gestión de la carga de trabajo para permitir actividades de innovación, y (iv) falta de infraestructura apropiada (Shinohara et al., 2017).

La tabla 7 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores organizacionales.

Tabla 7. *Factores críticos de éxito incluidos en factores organizacionales*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
---------	-----------	-------------------------

Holotiuk, & Beimborn (2017)	Organización	<ul style="list-style-type: none"> • Agilidad para reasignar recursos y reorganizar rápidamente • Gestión del cambio para un cambio radical y rápido • Organización de varios niveles y varias velocidades para una reacción más rápida • Alineación organizacional hacia lo digital • Orientación a largo plazo, pero esprints cortos e intensos para cambiar • Separación organizacional hacia la escisión (Spin-off) • Toma de decisiones esbeltas de cliente
Shinohara et al. (2017)	Organizacionales	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento del usuario • Programas de capacitación (equipo de proyecto, equipo de soporte y usuarios) • Tomadores de decisiones capacitados y autorizados (agilidad en las decisiones) • Apoyo y compromiso continuo de la alta dirección • Análisis económico y de rentabilidad • Gestión centralizada de productos, procesos y recursos • Diseño dinámico de procesos de negocios e ingeniería • Ser una empresa atractiva que busca los mejores recursos disponibles • Respuestas rápidas a los desarrollos tecnológicos del mercado • Cultura impulsada por la innovación • Gestión de la carga de trabajo para permitir actividades de innovación

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.3 Factores culturales

A continuación, cultura y liderazgo tiene como objetivo crear y fomentar una mentalidad digital con una agenda digital donde la cultura adquiere un carácter exploratorio y adaptativo, está abierta al cambio y propicia a la transformación digital. Se fomenta la colaboración y el trabajo interfuncional para generar nuevas ideas e impulsar la innovación. Las empresas se están liberando del pensamiento tipo silo. Con ella, las empresas deben establecer un conjunto común de valores con la creación de valor digital e integrar las tecnologías digitales en la transformación, así como la forma en que las personas trabajan. Los líderes tienen que afianzar los valores digitales de la cultura, como el pensamiento progresista, la apertura, la aceptación de la tecnología, el espíritu emprendedor y una forma de trabajo inicial. El valor de la innovación digital debe ser entendido, reconocido y apreciado para tener éxito. Esto va junto con una nueva cultura que admite aceptar el fracaso y alentar a los nuevos a crecer éxito. Es necesario establecer una apreciación común de que la toma de riesgos implica el fracaso y el fracaso se adopta como un requisito previo para el éxito. La cultura debe fomentar la asunción de riesgos y tolerar fracasos para tener éxito. El equipo de liderazgo necesita un compromiso con la transformación en estrategia y cultura para establecer una DBS en el rumbo correcto y liderar la transformación digital mediante el ejemplo desde la parte superior de la organización. Es importante comprender que los líderes impulsan la transformación, abordan las tecnologías que generan cambios y desencadenan el cambio de cultura conectado (Holotiuk, & Beimborn, 2017).

La tabla 8 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores relacionados culturales.

Tabla 8. *Factores críticos de éxito incluidos en factores culturales*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk, & Beimborn (2017)	Cultura y Liderazgo	<ul style="list-style-type: none">• Crear y fomentar la mentalidad digital con una agenda digital• Conjunto común de valores con creación digital como valor• Aceptar el fracaso y alentar a los nuevos a

crecer exitosamente

- Innovación y cultura adaptativa con objetivos evolutivos
- Compromiso con la transformación en estrategia y cultura
- Replanteamiento de roles de nivel C (CDO, CIO)

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.4 Factores humanos

Esta dimensión incluye las capacidades y competencias de recursos humanos, se basa fuertemente en la capacidad de reinventar la cadena de valor y desafiar el estatus quo donde los empleados identifican dónde está el valor ahora y en el futuro, así como elevar el valor al siguiente nivel al moverlo del mundo tradicional de cadenas de valor a el mundo de las plataformas, los ecosistemas y las pilas. Las cadenas de valor desagregadas son causadas por una reducción de los costos de transacción y las empresas necesitan analizar las cadenas de valor para detectar los puntos que son mejores para una posible digitalización. La necesidad de habilidades digitales, *know-how* y talento se encuentra en la parte superior de la lista para casi todas las empresas. Para diseñar y ejecutar la DBS, las empresas deben capacitar a los empleados para las habilidades digitales necesarias, alinear los sistemas de incentivos y proporcionar recursos financieros para el desarrollo del capital humano. Más allá de las claras habilidades técnicas de TI, también se requieren habilidades no informáticas, como visión, colaboración y gestión del cambio organizacional. Los nuevos talentos se sienten atraídos por un compromiso con la transformación digital, la alfabetización digital de los líderes y una comprensión en toda la empresa del poder de las tecnologías digitales. En particular, la capacidad de diseñar nuevos modelos de negocios se convierte en una capacidad estratégica con la DBS. A medida que los modelos de negocios cambian de 'adentro hacia afuera' a 'afuera hacia adentro', se enfocan más en el cliente. Este cambio es la esencia de adoptar un modelo de negocios digital. Las empresas innovan sus modelos de negocios más a menudo e incorporan interrupciones a pequeña escala y fundamentales que los modelos de negocios tradicionales. Por lo tanto, los modelos de negocios son de menor duración y se adaptan con más frecuencia cuando se alinean con la DBS. El

entorno empresarial digital basado en el conocimiento requiere nuevos activos y capacidades, como, por ejemplo, infraestructura de última generación para permitir la digitalización de productos, así como capacidades digitales para diseñar extensiones digitales de productos. Las empresas transforman digitalmente sus capacidades centrales mediante la creación de combinaciones complejas y multifuncionales de activos y capacidades en su modelo de negocios, por ejemplo, personas, procesos y experiencia para resistir la competencia. Sin embargo, no todos pueden aprender las habilidades digitales requeridas, por lo que los líderes deben identificar nuevos potenciales de recursos humanos. Por lo tanto, se necesita la evaluación de las habilidades requeridas y la identificación de las personas, que pueden ser capacitadas para apoyar la transformación (Holotiuk & Beimborn, 2017).

El proyecto FreQueNz sobre habilidades futuras del Internet de la cosa (*Internet of Things*. IoT) en la producción industrial, identificó habilidades y competencias tanto técnicas como interdisciplinarias (incluidas las sociales) que se requerirán cada vez más en el nivel de habilidades intermedias (Dworschak & Zaiser, 2014). La importancia del papel del factor humano en la Industria 4.0 ya se ha discutido previamente y ha sido confirmado por los resultados del estudio. Para una gran mayoría de las empresas participantes, las personas son un factor de éxito decisivo en la implementación de los sistemas de TI. Este resultado también se puede transferir a la Industria 4.0, ya que tanto el conocimiento técnico de los empleados, las habilidades de liderazgo de la junta como la composición del equipo del proyecto son fundamentales para el éxito. A pesar del mayor grado de automatización involucrado en la Industria 4.0, de acuerdo con expertos las personas aún desempeñarán un papel significativo. En la Industria 4.0 se seguirán ejecutando procesos manuales que deben realizarse apropiadamente mediante las habilidades de las personas, como la inteligencia, la creatividad, la empatía o la flexibilidad (Gabriel & Pessl, 2016).

La convergencia de la producción y la interacción, el trabajo y la comunicación son competencias cada vez más interdisciplinarias para mantenerse económicamente competitivo. Además el conocimiento experto, la flexibilidad, la creatividad y la innovación, son factores críticos de éxito para las empresas y sus empleados, para las primeras, sin embargo, estas competencias no aparecen de la nada. La Industria 4.0 también debe promoverse a través de

políticas de innovación apropiadas. Sin embargo, no es solo una tarea para el estado. Al igual que los funcionarios del gobierno, las partes interesadas de la sociedad civil, las empresas y las ciencias tienen que desarrollar una comprensión sistemática de la innovación a fin de marcar el comienzo de procesos integrales de digitalización para las empresas (Buhr, 2015).

Habilidades del empleado: los empleados son los garantes de la exitosa introducción de la Industria 4.0. Las empresas encuestadas están de acuerdo en que las habilidades requeridas de los empleados están cambiando fuertemente con Industria 4.0. Creen que los requisitos de calificación para los empleados aumentan significativamente. El personal trabajará cada vez más como conductor y coordinador. El fuerte grado de trabajo en red y la cooperación interdisciplinaria harán que el trabajo en equipo sea aún más importante (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). Dice el Dr. med. Kurt D. Bettenhausen, presidente de la GMA (*Gesellschaft für Mess-und Automatisierungstechnik*, sociedad de tecnología de medición y automatización): "La alta calidad de la formación en Alemania combinada con el alto nivel de automatización es la base de la fortaleza actual de la economía alemana", (Bettenhausen, 2014, sp).

La tabla 9 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría factores humanos.

Tabla 9. *Factores críticos de éxito incluidos en factores humanos*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk, & Beimborn (2017)	Capacidades y Competencias de Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para reinventar la cadena de valor y desafiar el estatus quo • Habilidades digitales, know-how y talento • Capacidad para diseñar nuevos modelos de negocios • Capacidades y activos nuevos • Los líderes deben identificar potenciales nuevos de recursos humanos
Gabriel & Pessl (2016)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Gente

		<ul style="list-style-type: none"> • Inteligencia • Creatividad • Empatía • Flexibilidad
Jäger et al., 2016	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades de los empleados
Buhr (2015)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento experto • Flexibilidad • Creatividad • Innovación
Bettenhausen (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Calificación del personal
Dworschak & Zaiser (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades técnicas • competencias interdisciplinarias

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.5 Factores de planeación

Prospectiva y visión se trata de establecer una visión clara con el posicionamiento futuro para la transformación digital. Con la DBS, las empresas deben tener una visión transformadora del futuro y aun así proporcionar la claridad necesaria y lograrlo. La visión se caracteriza por ciclos de retroalimentación ajustados y aspiración a mejoras, donde las empresas aprenden de las interacciones de los clientes, los empleados y los socios para desarrollar aún más la visión y, por lo tanto, actualizar los servicios y productos. Los ciclos de retroalimentación frecuentes y la reacción a los comentarios son un proceso iterativo que determina el éxito con la DBS. Fomentar la innovación más rápida / creación rápida de prototipos permite el comportamiento 'aprender-seguir-reaccionar' y 'probar y aprender', donde las empresas modelan nuevos productos con rapidez, los introducen rápidamente en el mercado y los prueban constantemente. Para la entrega continua de nuevos productos, son suficientes productos mínimos viables que aumentan la velocidad de desarrollo del producto para permitir a las empresas fallar, rápido y a un bajo costo. A medida que el entorno cambia rápidamente, las empresas deben mirar lo que se está dejando a la derecha y a la izquierda. El escaneo del entorno ayuda a identificar oportunidades digitales, interrupciones y amenazas potenciales. Es necesario detectar y anticipar las transformaciones

impulsadas por la tecnología, a medida que desaparecen las barreras tradicionales de la industria y permiten a los rivales asimétricos y aliados inesperados (Holotiuk & Beimborn, 2017).

La gestión de proyectos: incluye aspectos como dependencias de proyectos, recursos, financiación y priorización (Shinohara et al., 2017). Sin embargo, otras variables pueden ser la causa raíz de esta baja productividad. Algunos entrevistados mencionaron que el método tradicional era más simple y rápido para realizar sus actividades de trabajo que el uso de herramientas de la manufactura digital. Además de la capacitación especializada y los problemas técnicos, se observó que los empleados que trabajan en el escenario de la manufactura digital aún no han entendido sus beneficios reales y su propuesta. Por lo tanto, el alcance del proyecto (también referido como una dificultad) no estaba bien definido, ya que está claro las dudas entre los usuarios con respecto al alcance de la manufactura digital dentro de la empresa (Shinohara et al., 2017).

El éxito de la implementación de la manufactura digital también depende del cambio de la estructura del proyecto de la organización, una vez que la fase de análisis numérico usando herramientas de manufactura digital requiere más tiempo que el método convencional, a la vez que proporciona más calidad y complejidad para el análisis. Sin embargo, la ganancia se percibe en la fase de implantación, que se realiza más rápido y tiene menos elaboraciones, lo que reduce los costos y mejora la calidad (Shinohara et al., 2017).

Para las organizaciones de la Industria 4.0, dos competencias clave habilitantes son: los proyectos colaborativos y la administración concomitante de proyectos y programas, ya que representan integradores organizacionales de las organizaciones modernas con cadenas de valor flexibles interorganizacional (Semolic & Steyn, 2017).

El modelo de negocio, que puede ser definido como "un modelo de negocio que describe la lógica de cómo una organización crea, entrega y captura el valor" (Osterwalder & Pigneur, 2010, p14), es ampliamente aceptado como uno de los factores de éxito más críticos para las empresas (Kim & Kim, 2016). Para una innovación tecnológica como la Industria 4.0, el modelo de

negocio cumple la función de garantizar el camino al mercado, dentro del cual dicha tecnología entrega valor al cliente (Kim & Kim, 2016).

Innovación acelerada: la Industria 4.0 abarca un amplio conjunto de tecnologías con un gran campo para la innovación y soluciones creativas. Los modelos de negocio pioneros crearán nuevas oportunidades para agregar valor, pero eso dependerá de innovaciones innovadoras para la tecnología y la capacidad de llevarlos al mercado; esta es un área donde los socios públicos y privados deben colaborar estrechamente (Berger, 2014)

Básicamente, los modelos de negocios de la Industria 4.0 se caracterizan por una orientación de servicio sistemática. Los proveedores de Industria 4.0 proporcionan sus paquetes de servicios Industria 4.0 como una combinación de productos y servicios (por ejemplo, hardware y software) en equipos variables. Para los usuarios de la Industria 4.0, la atención se centra en los beneficios propios de la empresa. Proveedor ya activo: de la suma de las discusiones de expertos y la encuesta en línea, surge la imagen de que el gran atractivo y enorme potencial de los nuevos modelos de negocios digitales ya son reconocidos o utilizados por algunos proveedores, sobre todo de las industrias de ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica y software. Los usuarios aún no han reconocido su potencial, sin embargo, la mayoría de los ellos todavía dudan mucho. Las consideraciones de la Industria 4.0 de los usuarios son principalmente sobre tecnologías y el enfoque en las posibilidades de optimización de la producción. La imaginación de convertirse en el proveedor de nuevos servicios y servicios basados en datos con la Industria 4.0 aún falta para la mayoría de las compañías. La mayoría de los participantes en la encuesta en línea ven el desarrollo de nuevos modelos de negocios como un desafío difícil y, por lo tanto, desean apoyo externo. Desafío para medianas empresas: Las entrevistas y el taller muestran que el pensamiento sistemático en los modelos de negocios sigue siendo un territorio nuevo para muchas empresas medianas. La consideración de los potenciales, las tecnologías y especialmente la nueva lógica comercial de la Industria 4.0 es un desafío adicional. Cuando se discuten los modelos de negocios, a menudo retroceden a una perspectiva puramente tecnológica en la Industria 4.0. Las empresas ven un punto de entrada tangible para los modelos de negocios en la orientación de servicio más fuerte que vende el rendimiento del producto en lugar de los productos reales. En el

futuro, los modelos de negocios orientados al servicio podrían reemplazar a los modelos tradicionales orientados a las ventas (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

El resultado de una encuesta presentada por la VDI/VDE (*Verein Deutscher Ingenieure*, asociación de ingenieros alemanes; *Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik*, asociación de ingeniería eléctrica, electrónica y tecnología de la información) para la GMA en el congreso *Automation 2014* muestra que factores son cruciales para que Alemania logre el aumento esperado en productividad y los beneficios económicos de las tecnologías inteligentes y la Industria 4.0: calificación, velocidad e infraestructura (Bettenhausen, 2014).

La tabla 10 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores de planeación.

Tabla 10. *Factores críticos de éxito incluidos en factores de planeación*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk, & Beimborn (2017)	Previsión y visión	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer una visión clara con el posicionamiento futuro • Estrechos lazos de retroalimentación y aspiración a mejoras • Fomentar la innovación más rápida / creación rápida de prototipos • Mirar lo que está poniendo en izquierda y derecha • Experimentación audaz
Semolic & Steyn (2017)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos colaborativos • Gestión concomitante de proyectos y programas
Shinohara et al (2017)	Gestión de proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de implementación (comunicación, planificación, alcance, objetivos, roles, responsabilidades, gestión

		del cambio y soporte)
		<ul style="list-style-type: none"> • Adhesión, compromiso y participación de los empleados • Organizaciones colaborativas con equipos de auto entrenamiento • Composición del equipo del proyecto • Comunicación interna y externa • Modelo de investigación y desarrollo
Jäger et al., 2016	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de negocios
Kim & Kim (2016)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de negocios
Berger (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación acelerada • Desarrollo de campeones futuros
Bettenhausen (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de implementación

Fuente: Elaboración propia

2.4.3.6 Factores tecnológicos

La dimensión de datos e informática se enfoca en la utilización de una fuente central. Es de suma importancia que el análisis de una gran cantidad de datos (big data), la detección de datos estructurados y no estructurados, así como datos internos y externos de diferentes fuentes sean canalizados a una fuente de datos central. Los datos proveen una ventaja competitiva ya que la información es el núcleo de los modelos de negocios en el entorno empresarial digital. Como consecuencia, la función fundamentalmente diferente de TI con TI de dos velocidades ya no se trata de habilitar, sino de la creación del negocio. La TI adopta una nueva forma de pensar al aprovechar las tecnologías digitales para crear valor comercial. La TI de dos velocidades permite que las empresas operen TI a dos velocidades diferentes con resultados rápidos, tiempos de reacción altos y flexibilidad extrema hacia el lado que mira al cliente, y una fuerte estructura interna. Este enfoque bimodal es compatible con la digitalización con cambios rápidos en la parte frontal (front-end) y al mismo tiempo cumple con los requisitos de la parte trasera (back-end). Además, el procesamiento de datos en tiempo real y en gran escala es una acción clave que permite a las empresas rastrear y comunicar indicadores de rendimiento

clave digitales con frecuencia. Además, la información contextual en tiempo real y la analítica se combinan para desarrollar rápidamente conocimientos accionables a partir de los datos de estrategia de negocios digital. Una plataforma de TI modular con "habilidades de entrega de tecnología ágil", se basa en servicios rápidos pero flexibles y funciones integradas con soluciones compartidas. Las empresas utilizan una orquestación de servicios junto con un modelo de entrega continua, que les permite liberar e iterar rápidamente (Holotiuk & Beimborn, 2017).

Shinohara et al. (2017) incluyeron en la dimensión técnica a aspectos como la técnica, la tecnología, la complejidad y las interfaces, el rendimiento y la calidad. La infraestructura disponible sugiere tener una dificultad clave informada. Se ha demostrado que la red de datos apropiada es relevante, y los entrevistados la citaron siete veces. La necesidad de una velocidad viable para los datos de transferencia se justifica por la gran cantidad de datos recibidos y enviados por los usuarios. Se observó una baja productividad debido al gran tamaño del archivo, especialmente cuando se trata de archivos CAD, lo que genera un bajo valor agregado en el proceso de cargar, compartir y guardar archivos. Además de la velocidad de la red, la falta de hardware apropiado que soporte las herramientas de la manufactura digital también está relacionado con el problema de la infraestructura.

Las plantas de fabricación tradicionales que usualmente trabajaban sin estar conectados al Internet ahora están conectadas a él y a los sistemas de TI. Las plantas y las máquinas ahora están expuestas a ciberataques a menos que se tomen las medidas apropiadas. Debido a una mayor interconexión los sistemas son cada vez más complejos por lo que requieren una mayor administración. Una consecuencia de esto es el aumento del riesgo de acceso no autorizado o desapercibido. La seguridad de TI tiene dos funciones: la protección de una planta o su maquinaria contra el acceso no autorizado desde el exterior; y la protección interna de accesos no autorizados a los datos confidenciales, así como proteger a estos contra la corrupción y la pérdida. Esto incluye a los ataques deliberados o incidentes de seguridad accidentales. Los mecanismos de seguridad de los datos deben adaptarse continuamente al nivel de amenaza (Wessels, 2017). Los problemas de seguridad de TI son de gran importancia en todas las áreas de la Industria 4.0, y es conveniente dividirla en dos áreas: la primera es la confiabilidad del sistema

(safety) que está representada por la confiabilidad de un sistema con respecto a su seguridad operativa y operacional. La protección del sistema (security) describe la protección de un sistema de TI contra ataques intencionales por piratas informáticos. Las dos áreas son interdependientes ya que la confiabilidad del sistema incluye la protección del mismo (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

La base para la creación de redes en la nueva economía digital es una infraestructura de TI eficiente. Una infraestructura de TI eficiente constituye la base para la creación de redes en la economía digital. Para poder crear una industria flexible y en red requieren que las tecnologías de información y comunicación empresariales (TIC) y los recursos empresariales (como maquinaria y equipo) presenten un alto grado de integración (Jäger et al., 2015; Jäger, et al., 2016). Los altos costos de inversión que representa la Industria 4.0 son un gran reto, especialmente para las empresas medianas. El cálculo del rendimiento del capital es difícil ya que no existen criterios de valoración monetaria para las nuevas tecnologías utilizadas en la Industria 4.0, además de estar naturalmente asociado a los riesgos (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). La definición e interpretación de lo que la Industria 4.0 representa es muy diferente para diferentes empresas. Para algunas de ellas, la Industria 4.0 comprende la digitalización total de la sociedad; para otras, solo incluye el área de producción. En esencia, se trata principalmente de nuevas tecnologías para la digitalización. Algunas de estas tecnologías ya están aplicándose como: uso de un configurador en línea para realizar trabajos de impresión específicos del cliente; movimiento de ordenes través de la producción sin el uso de papel, incluyendo el material totalmente automatizado desde la prefabricación hasta el ensamblaje, usando códigos de barras y tecnología de transmisor-receptor para la identificación automática y sin contacto y ubicación de objetos usando ondas de radio electromagnéticas (RFID); cartera de productos y servicios compuesta por soluciones personalizadas de big data para diversas industrias y unidades de negocio en la nube; revisión continua y específica de las ventas de productos en los propios centros de distribución de la empresa a través de la nube; instalación de energía completa e infraestructura de TI, junto con una aplicación de teléfono inteligente intuitiva para controlar toda la electrónica en el edificio (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

Arquitectura modular: la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 debe ser gradual. Se inicia con el establecimiento de sistemas de tecnología de Industria 4.0 que sean pequeñas y tan independientes como sea posible. Estos sistemas se dividen en más componentes tecnológicos. Se espera que estos componentes tecnológicos sean comparables, mutuamente similares y pueden ser reemplazados entre sí. Esto lleva a tener una mayor robustez durante la turbulencia inicial y evita que haya una falla total (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). Muy importante para la digitalización es la calidad de los datos y la información. Una opción es usar las cinco características de Big Data: volumen, representado por grandes cantidades de datos; variedad, con diferentes fuentes de datos y formatos; velocidad por medio de convulsiones y análisis de datos en tiempo real; veracidad, representada por precisión y fiabilidad de los datos; y valor, donde los datos deben ser utilizables (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). Adaptación por imitación: ya existen muchas soluciones de Industria 4.0 en otros campos de aplicación que se pueden adaptar. También se debe de observar el progreso de Industria 4.0 de los competidores del líder de la industria. Así como a los líderes de la tecnología interindustrial. Se puede conseguir apoyo por medio de clústeres, asociaciones y redes de contactos personales (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). Una infraestructura digital integral a prueba de fallas se está convirtiendo en otro de los requisitos previos fundamentales para una Industria 4.0 exitosa (Berger, 2014).

La seguridad de TI es un factor de éxito crítico. Hay que dominar tres desafíos en el camino hacia la Industria 4.0: se deben ilustrar los beneficios, los usuarios potenciales deben estar convencidos y, sobre todo, se debe garantizar la seguridad de TI. Especialmente con este último hay una necesidad concreta de acción. Si las infraestructuras de TI, como la nube para la Industria 4.0, van a ingresar a la industria manufacturera, la seguridad informática es el requisito previo necesario (Bettenhausen, 2014).

La tabla 11 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores tecnológicos.

Tabla 11. *Factores críticos de éxito incluidos en factores tecnológicos*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
---------	-----------	-------------------------

Holotiuk, & Beimborn (2017)	Datos y TI	<ul style="list-style-type: none"> • Usa datos e información de la fuente central • Roles fundamentalmente diferentes de TI con TI de dos velocidades • Procesamiento de datos en tiempo real y en gran escala • Plataforma de TI modular
Shinohara et al (2017)	Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Interoperabilidad de la gestión de datos relacionada con la gestión de datos y la integración de herramientas y sistemas • La velocidad del sistema operativo y la configuración fácil del software • Datos en tiempo real • Infraestructura e instalaciones para el proyecto (habitaciones, computadoras, redes) • Arquitectura del sistema que admite datos de IoT • Conectividad • Capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y toma de decisiones • Robótica avanzada • Seguridad cibernética • Trazabilidad • Automatización logística • Soporte técnico para herramientas MD (Manufactura Digital) • Disponibilidad de herramientas colaborativas
Wessels (2017)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad o protección de datos (security)

Jäger et al. (2016)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura de TI • Costos de inversión • Seguridad IT • Nuevas tecnologías • Arquitectura modular • Calidad de los datos • Adaptación por imitación
Bettenhausen (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad de TI garantizada

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.7 Factores operacionales

Las operaciones se infunden con datos para crear procesos impulsados por datos y automatizados digitalmente para una mayor automatización. Esto permite que las cadenas de suministro reaccionen rápidamente y anticipen la demanda de los clientes. El manejo automatizado adicional de los servicios y las interacciones de los clientes completamente automatizadas en los modelos de negocios, como Zipcar o car2go, aumentan la velocidad y la eficiencia. La combinación de recursos humanos y digitales crea diseños centrados en el ser humano para las empresas con soluciones individuales mediante canales humanos y digitales interconectados. La DBS se enfoca en la eficiencia en la interacción entre las personas y la tecnología, con tecnologías digitales que agregan velocidad a los procesos y servicios (Holotiuk, & Beimborn, 2017).

La seguridad funcional de la maquinaria se enfoca en la protección del recurso humano y del medio ambiente en contra de amenazas que surgen de la maquinaria. Los riesgos residuales emanados no deben exceder valores permitidos. Estos riesgos incluyen daño ambiental en el entorno de la planta y riesgos al recurso humano dentro de la planta (Wessels, 2017).

La cooperación indirecta de las máquinas en producción es realizable al combinar sistemas de producción inteligentes con sistemas de transporte inteligentes. Las máquinas no deben unirse

con la línea de producción fija, por el contrario, se debe de agregar un transporte inteligente. Esto permitirá que los productos se canalicen a través de la producción de acuerdo con cada situación (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

La innovación, la automatización y los procesos sofisticados están en la raíz de las estrategias de éxito industrial y han demostrado ser fundamentales para mantener una posición de liderazgo (Berger, 2014).

La convergencia de la producción y la interacción, el trabajo y la comunicación son competencias cada vez más interdisciplinarias para mantenerse económicamente competitivo. Además del conocimiento experto, la flexibilidad, la creatividad y la innovación, estos son factores críticos de éxito para las empresas y sus empleados. Para las empresas y sus empleados, sin embargo, estas competencias no aparecen de la nada. La Industria 4.0 también debe promoverse a través de políticas de innovación apropiadas. Sin embargo, no es solo una tarea para el estado. Al igual que los funcionarios del gobierno, las partes interesadas de la sociedad civil, las empresas y las ciencias tienen que desarrollar una comprensión sistemática de la innovación a fin de marcar el comienzo de procesos integrales de digitalización para las empresas (Buhr, 2015).

La tabla 12 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores relacionados de operaciones.

Tabla 12. *Factores críticos de éxito incluidos en factores de operacionales*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk, & Beimborn (2017)	Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso basado en datos y automatizado digitalmente • No solo cambian los negocios sino también los modelos operativos • Mezcla de recursos humanos y digitales • Proporcionar recursos financieros

Wessels (2017)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad funcional de la maquinaria (safety)
Jäger et al., 2016	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria de cooperación indirecta
Buhr (2015)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación
Berger (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación • Automatización • Procesos sofisticados • Una infraestructura digital integral a prueba de fallas

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.8 Factores externos

Los factores externos: incluyen aspectos tales como subcontratistas y proveedores, regulaciones, mercado y clientes (Shinohara et al., 2017). Esta dimensión incluye elementos externos a la empresa como los socios cuyo objetivo principal es utilizar los efectos de red con sistemas abiertos e integración de socios. Hay un aumento en el valor con cada nuevo cliente agregado, por lo tanto, las empresas habilitadas digitalmente tienden a formar monopolios naturales y crean una "dinámica del ganador-se-lleva todo", como es el caso de Google y Facebook. Las empresas deben abrir sus servicios y productos a una comunidad, así como permitir una fácil integración de nuevos dispositivos conectados, objetos y personas a través de estándares abiertos, permitiendo que los productos en una red sean más poderosos. Con socios externos, las empresas forman asociaciones sólidas y colaborativas. Además, una amplia orientación externa apoya el aprendizaje y la innovación. La colaboración va más allá de los límites de la empresa y se extiende a los clientes, proveedores de tecnología y proveedores. Las empresas permiten a los socios colaborar para obtener experiencia especializada y utilizan asociaciones para innovaciones específicas (Holotiuk & Beimborn, 2017). En el contexto externo, la integración de la cadena de suministro también es un objetivo de la digitalización de la manufactura. Es necesario contar con herramientas de colaboración que integren a la fábrica y sus proveedores (Holotiuk & Beimborn, 2017).

Usualmente existe una dificultad para compartir información del proyecto con todas las partes interesadas por lo que se requiere de socios con conocimiento y experiencia. Además, el entorno gubernamental también influye en la digitalización de la manufactura, ya que algunos países tienen mercados proteccionistas y obstaculizan la importación de tecnologías de software y hardware (Shinohara et al., 2017). La complejidad actual de las tecnologías, las empresas emergentes y los entornos comerciales requieren especialización y colaboración sostenible. Las organizaciones virtuales vibrantes, flexibles y de alto rendimiento de socios especializados innovadores son los factores críticos de éxito del entorno empresarial emergente (Semolic & Steyn, 2017). El ecosistema empresarial de la Industria 4.0, no depende únicamente de la innovación, la optimización y la competitividad de sus recursos. Depende de la capacidad de innovación de la cadena de valor interorganizacional, la tecnología complementaria de los socios, los productos, la digitalización y los servicios de soporte en general (Semolic & Steyn, 2017). Junto con los socios, están creando cadenas de suministro y valor innovadoras entre organizaciones que operan en un ecosistema de negocios de colaboración global. Los factores principales y las causas de estos cambios radican en el rápido desarrollo, la disponibilidad y la asequibilidad de las modernas tecnologías habilitadoras clave (KET). Los KET son intensivos en conocimiento y están asociados con una alta intensidad de investigación y desarrollo, ciclos rápidos de innovación, altos gastos de capital y empleo altamente calificado. Permiten la innovación de procesos, bienes y servicios en toda la economía y son de relevancia sistémica. Son multidisciplinarios, atraviesan muchas áreas tecnológicas con una tendencia hacia la convergencia y la integración. La línea de fondo de los KET es la digitalización general con internet de las cosas (IoT) y servicios, que permiten oportunidades para la introducción de nuevos productos y modelos de negocios sin fin (Semolic & Steyn, 2017).

En el contexto de Industria 4.0, el tema de la seguridad jurídica también es un enfoque particular. Desde el punto de vista de la compañía, queda claro que el estado de derecho solo puede reaccionar a los desarrollos del mercado y, por lo tanto, siempre se queda atrás. Además, requieren largos tiempos de implementación. Las cuestiones concretas y esenciales en el contexto de la digitalización abordan los derechos de propiedad y uso de los nuevos datos generados por la digitalización. Un estado pendiente de esta situación legal representa una

enorme incertidumbre para las empresas (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016). Presión competitiva de nuevos competidores en el mercado, según la mayoría de los proveedores y algunas empresas de usuarios finales, las nuevas tecnologías y los modelos comerciales de la industria 4.0 tienen el potencial de perturbar el mercado aparentemente regulado. Al mismo tiempo, Industria 4.0 permite la entrada en el mercado de empresas que anteriormente no estaban relacionadas. Dado su tamaño o dinámica de crecimiento, estos pueden convertirse en una amenaza para las empresas que se han establecido en el mercado hasta el momento (Jäger et al., 2015; Jäger et al., 2016).

Los servicios pueden ser producidos en masa también. Los servicios digitales de alta calidad (subcontratados) se están convirtiendo en uno de los requisitos previos fundamentales para una Industria 4.0 exitosa. Habrá una colaboración aún más estrecha entre las empresas de TI/telecomunicaciones y las empresas de fabricación tradicionales. Los primeros podrían en algunos casos convertirse en los nuevos líderes de la industria. Los ejemplos más recientes: Facebook está adquiriendo participación en el negocio de los drones y el gigante de Internet Google está ingresando al sector de la biotecnología e investigando nuevos métodos para combatir las enfermedades relacionadas con la edad. En Industria 4.0, es probable que cambien las jerarquías/órdenes jerárquicas de los proveedores. En la actualidad, los proveedores de máquinas y herramientas físicas cosechan los mayores márgenes con sus clientes de la industria. Pero en un mundo de sistema ciberfísico, estos proveedores perderán importancia. En cambio, los proveedores de sensores, TI y software podrían ocupar su lugar en la Industria 4.0, mientras que las compañías de máquinas y herramientas pasarían al nivel 2 (Berger, 2014).

Una fortaleza económica de Alemania que le da una ventaja en la puesta en marcha para la Industria 4.0 a nivel mundial, es la buena infraestructura existente a nivel nacional con cadenas logísticas muy funcionales (Bettenhausen, 2014). Establecer un entorno digital dinámico: el aspecto digital se ha convertido en una misión crítica para muchos productos y servicios. Por lo tanto, se necesita un entorno competitivo que fomente el uso dinámico de las telecomunicaciones y de Internet. Los proveedores de infraestructura pueden contribuir en este campo, no solo proporcionando estructuras para el suministro de energía y telecomunicaciones, sino también desarrollando estándares para transferencia de datos y procedimientos de seguridad. Los campos

clave a considerar incluyen ciberseguridad, energía, telecomunicaciones y la nube. Se necesitarán iniciativas de infraestructura digital, que serán gestionadas por actores o asociaciones de la industria (Berger, 2014).

La tabla 13 concentra los factores críticos de éxito que se incluyen en la categoría denominada: factores externos.

Tabla 13. *Factores críticos de éxito incluidos en factores externos*

Estudio	Categoría	Factor crítico de éxito
Holotiuk & Beimborn (2017)	Socios	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos de red con sistemas abiertos e integración de socios • Socios externos
Semolic & Steyn (2017)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • organizaciones virtuales de socios especializados innovadores • organizaciones virtuales de socios especializados vibrantes • organizaciones virtuales de socios especializados flexibles de alto rendimiento
Shinohara et al (2017)	Externos	<ul style="list-style-type: none"> • Socios con conocimiento y experiencia • Aspectos gubernamentales • Integración con proveedores externos • Mayor enfoque al cliente
Jäger et al., 2016	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria de cooperación indirecta
Buhr (2015)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación
Berger (2014)	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación • Automatización • Procesos sofisticados • Una infraestructura digital integral a prueba de fallas

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en base a las tablas 6 a la 13 se elaboró la tabla 14, en la cual se concentran todas las categorías de factores críticos de éxito y sus respectivas entradas de factores para cada una de ellas.

Tabla 14. *Resumen de factores críticos de éxito de acuerdo con su categoría*

Categoría	Factor crítico de éxito
Factores relacionados al cliente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis sistemático (<i>analytics</i>) para personalizar y crear productos y servicios 1. Canales sin conexión (físicos) y en línea (digitales) integrados sin problemas 2. Contacto directo para <i>centricity</i> del cliente 3. Demanda del cliente 4. Digitalización de interacción con el cliente y productos y servicios 5. Excelente experiencia y satisfacción del cliente 6. Integración del cliente con la innovación abierta 7. Mayor enfoque al cliente
Factores organizacionales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Agilidad para reasignar recursos y reorganizar rápidamente 1. Alineación organizacional hacia lo digital 2. Análisis económico y de rentabilidad 3. Apoyo y compromiso continuo de la alta dirección 4. Conocimiento del usuario 5. Cultura impulsada por la innovación 6. Diseño dinámico de procesos de negocios e ingeniería 7. Gestión centralizada de productos, procesos y recursos 8. Gestión de la carga de trabajo para permitir actividades de innovación 9. Gestión del cambio para un cambio radical y rápido

	<ul style="list-style-type: none"> 10. Organización de varios niveles y varias velocidades para una reacción más rápida 11. Orientación a largo plazo, pero sprints cortos e intensos para cambiar 12. Programas de capacitación (equipo de proyecto, equipo de soporte y usuarios) 13. Respuestas rápidas a los desarrollos tecnológicos del mercado 14. Separación organizacional hacia la escisión (<i>Spin-off</i>) 15. Ser una empresa atractiva que busca los mejores recursos disponibles 16. Toma de decisiones esbelta 17. Tomadores de decisiones capacitados y autorizados (agilidad en las decisiones)
Factores culturales	<ul style="list-style-type: none"> 1. Aceptar el fracaso y alentar a los nuevos a crecer exitosamente 1. Compromiso con la transformación en estrategia y cultura 2. Conjunto común de valores con creación digital como valor 3. Crear y fomentar la mentalidad digital con una agenda digital 4. Innovación y cultura adaptativa con objetivos evolutivos 5. Replanteamiento de roles de nivel C (CDO, CIO)
Factores humanos	<ul style="list-style-type: none"> 1. Adquirir, retener y atraer nuevos talentos 1. Calificación del personal 2. Capacidad para diseñar nuevos modelos de negocios 3. Capacidad para reinventar la cadena de valor y desafiar el statu quo

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Capacidades y activos nuevos 5. Capacidades y educación de la fuerza de trabajo, 6. Competencias interdisciplinarias 7. Conocimiento experto 8. Creatividad 9. Empatía 10. Flexibilidad 11. Gente 12. Habilidades de los empleados 13. Habilidades digitales, know-how y talento 14. Habilidades técnicas 15. Innovación 16. Inteligencia 17. Los líderes deben identificar potenciales nuevos de recursos humanos
Factores de planeación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adhesión, compromiso y participación de los empleados 1. Composición del equipo del proyecto 2. Comunicación interna y externa 3. Establecer una visión clara con el posicionamiento futuro 4. Estrategia de implementación 5. Estrechos lazos de retroalimentación y aspiración a mejoras 6. Experimentación audaz 7. Fomentar la innovación más rápida / creación rápida de prototipos 8. Gestión concomitante de proyectos y programas 9. Innovación acelerada 10. Mirar lo que está poniendo en izquierda y derecha

	<ul style="list-style-type: none"> 11. Modelo de investigación y desarrollo 12. Modelo de negocios 13. Organizaciones colaborativas con equipos de auto entrenamiento 14. Proyectos colaborativos 15. Velocidad de implementación
Factores tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> 1. Adaptación por imitación 1. Arquitectura del sistema que admite datos de IoT 2. Arquitectura (plataforma) modular 3. Automatización logística 4. Calidad de los datos 5. Capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y toma de decisiones 6. Conectividad 7. Costos de inversión 8. Datos en tiempo real 9. Disponibilidad de herramientas colaborativas 10. Disponibilidad de tecnología 11. Grado de digitación 12. Infraestructura de TI 13. Interoperabilidad de la gestión de datos relacionada con la gestión de datos y la integración de herramientas y sistemas 14. La velocidad del sistema operativo y la configuración fácil del software 15. Nuevas tecnologías 16. Procesamiento de datos en tiempo real y en gran escala 17. Robótica avanzada 18. Roles fundamentalmente diferentes de TI con TI de dos velocidades

	<ul style="list-style-type: none"> 19. Seguridad (<i>securiry</i>) cibernética (TI) 20. Soporte técnico para herramientas de manufactura digital 21. Trazabilidad 22. Usar datos e información de la fuente central
Factores operacionales	<ul style="list-style-type: none"> 1. Automatización 1. Convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación 2. Innovación 3. Maquinaria de cooperación indirecta 4. Mejora de sus recursos operacionales 5. Mezcla de recursos humanos y digitales 6. No solo cambian los negocios sino también los modelos operativos 7. Proceso basado en datos y automatizado digitalmente 8. Procesos sofisticados 9. Proporcionar recursos financieros 10. Seguridad funcional de la maquinaria (<i>safety</i>) 11. Una infraestructura digital integral a prueba de fallas
Factores externos	<ul style="list-style-type: none"> 1. Aspectos gubernamentales 1. Certeza legal 2. Efectos de red con sistemas abiertos e integración de socios 3. Establecer un entorno digital dinámico 4. Infraestructura regional 5. Integración con proveedores externos 6. Nuevos competidores 7. Organizaciones virtuales de socios especializados flexibles de alto rendimiento 8. Organizaciones virtuales de socios especializados

	<p>innovadores</p> <p>9. Organizaciones virtuales de socios especializados vibrantes</p> <p>10. Servicios digitales (subcontratados) de alta calidad</p> <p>11. Socios externos con conocimiento y experiencia</p>
--	--

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Definición de industria 4.0

La definición de trabajo de Industria 4.0 para esta investigación:

Es la utilización de nuevas tecnologías: sistemas ciber-físicos, Internet de la cosas e Internet de los servicios, etc., en el diseño, manufactura y comercialización de los productos, utilizando nuevos modelos de negocios que consideren la nueva dinámica entre dichas tecnologías y los empleados, así como entre las empresas, los proveedores y clientes. (Jacquez-Hernández & Torres, 2018, p64)

2.3.6 Dimensiones de Industria 4.0

En esta sección se describen las dimensiones usadas para la medición de la variable independiente Industria 4.0, iniciando con una descripción de la medición de la madurez, revisión de modelos de madurez, y definiciones de las categóricas del modelo a utilizar en la investigación.

2.3.6.1 Medición del nivel de madurez y/o nivel de preparación

El término "madurez" normalmente se refiere a estar en estado completo, estar perfecto o listo, también puede implicar un progreso en el desarrollo de un sistema (Schumacher et al., 2016). Los modelos de madurez han sido usados y ampliados tanto por académicos, profesionales y consorcios internacionales, muchos de estos modelos son derivados del Modelo de Madurez de Capacidades (CMM, *Capability Maturity Model*) y el resultante modelo CMMI (*Capability Maturity Model Integration*, Integración del Modelo de Madurez de Capacidades). Los modelos de madurez son muy importantes para el nivel organizacional y pueden ser utilizados para crear una hoja de ruta para mejoras (Tonelli, Demartini, Loleo & Testa, 2016).

Los modelos de madurez han sido desarrollados para asistir a las empresas a identificar maneras de reducir costos, de mejorar la calidad y a reducir el tiempo de comercialización de manera que puedan obtener y conservar una ventaja competitiva (De Bruin, Freeze, Kaulkarni & Rosemann, 2005).

Para la medición de la madurez existen tres tipos de modelos de acuerdo con su propósito: descriptivo, prescriptivo y comparativo (De Carolis, Macchi, Negri & Terza, 2017), (Klötzer & Pflaum, 2017). Y De Carolis et al. (2017) agregan que, aunque parecen tres modelos distintos, son fases evolutivas del ciclo de vida de un modelo.

Los modelos de madurez se usan comúnmente como un instrumento para conceptualizar y medir la madurez de una organización o un proceso con respecto a un estado objetivo específico. Etiquetados como sinónimos están los modelos de preparación con el objetivo de capturar el punto de partida y permitir la iniciación del proceso de desarrollo. La diferencia entre la preparación y la madurez está en que la evaluación del grado de preparación se lleva a cabo antes de iniciar el proceso de maduración, mientras que la evaluación de la madurez apunta a capturar el estado tal como es durante el proceso de maduración (Schumacher, et al., 2016).

2.3.6.2 Modelos de Madurez en el contexto de Industria 4.0

2.3.6.2.1 Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital (DREAMY)

De Carolis et al., (2017) con el propósito de realizar una arquitectura lo más general posible, agruparon los procesos de una empresa de manufactura en cinco áreas que consideraron estratégicas: (1) diseño e ingeniería; (2) gestión de producción; (3) gestión de calidad; (4) gestión de mantenimiento; y (5) gestión de logística y que forman parte de lo que denominan columna vertebral digital del modelo desarrollado. El modelo propuesto: Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital (DREAMY, *Digital Readiness Assessment Maturity Model*), comprende las siguientes dimensiones: proceso, monitoreo y control, tecnología y organización, y los niveles de madurez son: ML1 inicial; ML2 gestionado; ML3 definido; ML4 integrado e interoperable; y ML5 orientado digitalmente.

2.3.6.2.2 Modelo de madurez de Industria 4.0 (Industry 4.0-MM)

Por su parte Gökalp et al. (2017) propusieron el Modelo de Madurez de Industria 4.0 (Industry 4.0-MM). Para la construcción de su modelo primero analizaron siete estudios previos y concluyeron que ninguno estaba completo para ser considerado como un modelo de uso universal. El modelo desarrollado está orientado a suministrar una guía completa que permita a las organizaciones observar sus debilidades y áreas problemáticas, así como la aplicación de prácticas que permitan la transformación a Industria 4.0 de forma consistente. Su modelo lo construyeron basándose en el modelo SPICE (*Software Process Improvement and Capability dEtermination*, mejora de procesos de software y determinación de capacidad). Está compuesto de dos variables aspecto y capacidad. Dentro de la variable aspecto se incluyen: gestión de activos, gobernanza de datos, gestión de aplicaciones, alineación organizacional, transformación de proceso; mientras que la dimensión capacidad son en sí los niveles de madurez: nivel 0 incompleto; nivel 1 desarrollado; nivel 2 gestionado; nivel 3 establecido; nivel 4 predecible; y nivel 5 optimizado.

2.3.6.2.3 Modelo de madurez de Tecnología de Manufactura (*Manutech Maturity Model*)

El modelo de Gracel & Lebkowsky (2017) denominado Modelo de Madurez de Tecnología de Manufactura MMTM (*Manutech Maturity Model*) se desarrolló para ayudar a la alta gerencia a evaluar el nivel actual de avance tecnológico de la fábrica y como las tecnologías de manufactura deben de ser desplegadas para asegurar la ejecución efectiva de una nueva estrategia de Industria 4.0. Para el desarrollo de su modelo utilizaron la metodología de propuesta por Becker, Knackstedt & Pöppelbuß (2009), la cual comprende las siguientes etapas: definición del problema, comparación de modelos de madurez existentes, determinación de una estrategia de desarrollo, desarrollo iterativo del modelo de madurez, concepción de la transferencia y evaluación. En la etapa de comparación de modelos de madurez, evaluaron diez de estos modelos. Determinaron ocho dimensiones a saber: tecnologías esenciales; gente y cultura; gestión del conocimiento; integración en tiempo real; infraestructura; alineación y conciencia estratégica; excelencia de proceso; y ciberseguridad. Los niveles de medición de madurez van de 1 -el más bajo, al 5 -estado del arte. Los autores proponen dos métodos de aplicación: autoevaluación y evaluación por una parte externa; y método de representación numérica con gráficas de radar.

2.3.6.2.4 Modelo de madurez de Jæger y Halse

Para el desarrollo de su modelo de madurez Jæger & Halse (2017) utilizaron el marco integral de investigación para la investigación del modelo de madurez, propuesto por Wendeler (2012), que establece que el desarrollo del modelo debe ser un proceso iterativo de tres pasos para cada ciclo: desarrollo, aplicación, y validación del modelo. Y también usaron la metodología propuesta por De Bruin et al., (2005) de siete fases para el desarrollo del modelo de madurez: alcance, diseño, poblar, prueba, despliegue y mantener. La única dimensión usada fue tecnologías de IoT y para la medición de la madurez utilizaron los siguiente ocho niveles: Madurez 3.0; madurez 4.0 inicial; conectado; mejorado; innovador; integrador; extensivo; y madurez 4.0.

2.3.6.2.5 Modelo de madurez de Kermer-Meyer

El modelo de Kermer-Meyer (2017) está compuesto de seis categorías: soluciones inteligentes; innovación inteligente; redes inteligentes; producción inteligente; modelos de negocios; y condiciones del marco de referencia. Mide la madurez con cinco niveles: 0i marco de referencia; 1i visibilidad; 2i transparencia; 3i previsibilidad, y 4i adaptabilidad. Además del modelo Kermer-Meyer recomienda a las compañías hacer lo siguiente: evaluación de nivel de madurez en I4.0 y definir una estrategia en base a los resultados; implementar programas piloto de aplicación de tecnologías digitales para generar pequeñas ganancias; crear una estructura organizacional que dirija el proceso de transformación digital; y prepararse para un cambio cultural.

2.3.6.2.6 Modelo de madurez de Klötzer y Pflaum

El enfoque usado por Klötzer & Pflaum (2017) fue cualitativo siguiendo la teoría de la investigación fundamentada, ya que de acuerdo con los autores buscaron que su modelo estuviera estructurado y científicamente sustentado. El modelo es aplicado en dos perspectivas tanto en realización inteligente de productos (de orientada a producto a orientada a servicio) como en aplicación inteligente del producto (de producción convencional a producción inteligente). Se compone de nueve categorías para cada perspectiva y en general son iguales a excepción de la tercera, que es producto para la perspectiva de realización y fábrica para la perspectiva de aplicación. Las categorías son: desarrollo estratégico; ofreciendo al cliente; producto (o fábrica) inteligente; sistema de TI complementario; cooperación; organización

estructural; organización de proceso; competencias; y cultura innovadora. El modelo de madurez para la digitalización se caracteriza por que cada dimensión pasa por los cinco niveles de madurez y tiene un enfoque descriptivo principalmente, es decir es un modelo para la evaluación, pero de acuerdo con los autores, tiene potencial para propósitos prescriptor y comparativo. Los cinco niveles de medición son: conciencia de digitalización; productos inteligentes en red; empresa orientada a servicio; pensar en sistemas de servicio; y empresa impulsada por los datos. La visualización de los niveles de madurez se hace por medio de gráficas de radar donde se incluyen las dos perspectivas, una de cada lado y su nivel de madurez.

2.3.6.2.7 Estudio del grado de preparación hacia la Industria 4.0

Kopp & Basl (2017) estudiaron el grado de preparación hacia la Industria 4.0 en compañías de la República Checa. El estudio se hizo por medio de encuestas por cuestionario y buscaron ver si las compañías checas están interesadas en la cuarta revolución y si estaban listas para esta tendencia. Las áreas de las empresas incluidas fueron cinco: estrategia; innovación y cambios; tecnología; datos y seguridad; y empleados. Los niveles para la medición utilizados fueron seis de nivel cero, empresas con un resultado de 0 en la encuesta, hasta el nivel cinco, un resultado entre 145 – 160 en la encuesta. Dentro de los resultados encontraron que la mayoría de las empresas estuvieron en un nivel 0, es decir que no estaban involucradas en I4.0, con un 77.16%. El nivel máximo alcanzado fue 4 con un 1.02%, y ninguna empresa alcanzó el nivel 5.

2.3.6.2.8 Estudio de preparación para Industria 4.0

En el artículo publicado por Rojko (2017) no fue específicamente para estudiar la madurez o preparación en I4.0. Sin embargo, da cuenta de un estudio de preparación donde se evaluaron las siguientes seis dimensiones: estrategia y organización (inversiones, gestión de innovaciones); fábrica inteligente (equipos y sistemas de TI, captura y uso de datos, modelado digital); operación inteligente (integración de la cadena de valor, almacenamiento en la nube); productos inteligentes (componentes físicos, identidad virtual); servicios impulsados por datos (funcionalidades de las TIC, predicción y optimización de los resultados comerciales, etc.); y recursos humanos (habilidades de los empleados, educación continua). Los resultados arrojaron que 56.5% de las compañías participantes no estaban cumpliendo con ningún requerimiento de

I4.0, mientras que 0.3% de las empresas estaban en el último nivel, es decir que ya habían implementado la estrategia de I4.0 y cumplido de manera satisfactoria las seis dimensiones.

2.3.6.2.9 Evaluación del grado de preparación de SCN para la industria 4.0

Reder & Klünder (2017) utilizaron el modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference, modelo de Referencia de Operaciones de Cadenas de Suministros) para realizar un estudio empírico en redes de cadenas de suministros. El enfoque metodológico de los autores se basa en el modelo SCOR como marco de referencia con terminología, procesos y métricos estandarizados. Debido a que el modelo SCOR comprende más de 500 métricos, fue necesaria la selección de un conjunto relevante de indicadores. Así que además de la selección de estos métricos, el objetivo de su estudio fue desarrollar un enfoque integrado para la evaluación del grado de preparación de SCN para la industria 4.0, como un análisis de decisión multicriterio. El modelo SCOR, desarrollado por el Consejo de Cadena de Suministros (Supply Chain Council, SCC), es un sistema integrado que mide el rendimiento de redes de cadenas de suministros (Supply Chain Networks, SCN). El objetivo de dicho modelo es comprender, describir, medir y evaluar las actividades que se desarrollan en un SCN, y está fundamentado en un marco común, que permite realizar evaluaciones comparativas (Benchmarking) e identificar las mejores prácticas (Huan, Sheoran & Wang, 2004). Determinaron quince indicadores del grado de preparación de I4.0: C1 conciencia de IoT; C2 utilización de tecnología; C3 aplicaciones de TI en la nube; C4 intercambio de habilidades de cadena de suministros (CS); C5 know-how de CS; C6 disposición a la reconfiguración de la CS; C7 dependencia económica de la SCN; C8 alineación estratégica hacia arriba (clientes) de la CS; C9 alineación estratégica hacia abajo (proveedores directos) de la SC; C10 grado de colaboración; C11 tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional; C12 tiempo de ciclo de manufactura; C13 velocidad de procesamiento; C14 capacidad de desempeño hacia arriba (clientes); C15 capacidad de desempeño hacia abajo (proveedores directos). La evaluación del grado de preparación se hace usando una combinación dos métodos: el Proceso de Jerarquía Analítica (Analytical Hierarchy Process, AHP) que resultó en cuatro niveles de SCN: rígido, mediano, promedio y avanzado; y el Método de Organización de Clasificación de Preferencias para Evaluaciones de Enriquecimiento (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations, PROMETHEE).

2.3.6.2.10 Modelo de proceso de tres etapas

Erol et al. (2016) nos dicen que, por un lado, las empresas tienen problemas sustanciales para captar la idea de Industria 4.0 y relacionarla con su dominio específico. Por ejemplo, es posible que no decidan si se debe entender como una visión o más bien como una misión (fines versus medios). Por otro lado, tienen dificultades para identificar campos de acción estratégicos, programas y proyectos para avanzar hacia una empresa en el sentido de Industria 4.0. Este último problema es consecuencia de la primera área problemática descrita: la falta de comprensión de la relevancia y el beneficio concretos de Industria 4.0. Sin embargo, las experiencias muestran una necesidad general de orientación para encontrar una estrategia adecuada para hacer frente a los desafíos impuestos por Industria 4.0. En el estudio, sugieren un modelo de proceso de tres etapas para guiar sistemáticamente a las empresas en su proceso de búsqueda de visión y estrategia Industria 4.0. El objetivo principal del modelo es guiar a las empresas en el desarrollo de sus objetivos específicos de Industria 4.0 junto con un conjunto de medidas para alcanzarlos. Llevar a cabo sistemáticamente las etapas llevarán a la compañía a la visión y hoja de ruta específica de la compañía, lo que permitirá a la empresa comunicar claramente los objetivos respectivos y tomar cursos concretos de acción. Las etapas del modelo son tres: 1. Imaginar, en esta etapa las empresas se familiarizan y asimilan los conceptos de Industria 4.0 y alinean sus objetivos específicos y necesidades del cliente con las ideas generales de la Industria 4.0; 2. Habilitar, esta etapa consiste en descomponer la visión de largo plazo de la Industria 4.0 en modelos de negocios más concretos y el desarrollo de estrategias hacia una implementación exitosa; 3. Promulgar, en esta etapa se busca transformar las estrategias en proyectos concretos, es decir pasar de la planeación a la acción.

2.3.6.2.11 Modelo de madurez de tres etapas para la transformación a Industria 4.0

Ganzarain & Errasti (2016) buscaron desarrollar proposiciones de valor para oportunidades de negocio nuevas dentro de la Industria 4.0. El estudio buscó definir un modelo de procesos de etapas que guíe y entrene a las empresas a identificar nuevas oportunidades para diversificación dentro de la Industria 4.0, y describir un modelo de madurez específico para definir una visión adecuada a la empresa de Industria 4.0 y una hoja de ruta del proyecto hacia la Industria 4.0. El modelo de madurez de tres etapas para la transformación a Industria 4.0 consta de tres dimensiones: la etapa visión 4.0, está dedicada a definir una visión de Industria 4.0 personalizada

y al entendimiento general de las ideas de la Industria, considerando las capacidades y recursos propios de la empresa: en la etapa de habilitar la empresa parte de una visión y trata de definir las capacidades y portafolio de tecnologías que son necesarias para dar soporte a las soluciones de producto-servicio identificados en la etapa anterior, la elaboración de una hoja de ruta facilitará la planeación estratégica y el proceso de alineación para la visualización y estructuración de las diferentes estrategias; y la última etapa es promulgar. La escala de madurez está definida por cinco niveles: 1. Inicial, no existe una visión específica de la compañía sobre industria 4.0; 2. Gestionado: existe una hoja de ruta de la estrategia hacia Industria 4.0; 3. Definido: se encuentran definidos los segmentos de clientes, propuesta de valor y recursos clave; 4. Transformar: transformar la estrategia en proyectos concretos; y 5. Modelo de negocios detallado: transformación del modelo de negocios.

2.3.6.2.12 Modelo de Madurez de Integración de Sistemas en Industria 4.0 (SIMMI 4.0)

Un reto importante que las empresas enfrentan es la digitalización tanto de la empresa en sí, como de los procesos. Inicialmente tendencias como el Internet industrial e Industria 4.0 afectaban solo a empresas grandes, ya que las PYMEs veían a estas tendencias como muy complejas y caras y las consideraban en parte no relevantes. En la actualidad la digitalización concierne a toda la cadena de valor de todo tipo de empresas, no solo a áreas funcionales aisladas como TI, así que una pregunta que surge de esto es ¿qué tipo de modelo de madurez utilizar para evaluar el panorama de sistemas TI, en el contexto de Industria 4.0? (Leyh, Bley, Schäffer, & Forstehäusler, 2016). Para responder esta pregunta, los autores presentan un modelo de madurez que permita a las empresas clasificar su panorama de sistema de TI en las necesidades del panorama de sistemas de la Industria 4.0. Denominan a su modelo SIMMI 4.0 (*System Integration Maturity Model Industry 4.0*) Modelo de Madurez de Integración de Sistemas en Industria 4.0. El modelo está compuesto de cuatro dimensiones: integración vertical, integración horizontal, desarrollo digital de producto, criterios de tecnología transversales, mientras que los niveles de madurez son cinco: nivel básico de digitalización, digitalización interdepartamental, digitalización horizontal y vertical; digitalización total, digitalización total optimizada.

2.3.6.2.13 Modelo de negocios para Industria 4.0

Para alcanzar la integración de las operaciones del negocio una práctica importante para mejorar las actividades empresariales a lo largo de la cadena de valor es a través de su modelo de negocio; una forma de competir a través de cadenas de suministros eficientes que agreguen valor y ayuden a alcanzar los objetivos organizacionales y obtengan una mejor respuesta de los consumidores es agregando sistemas tecnológicos a las empresas y su logística empresarial (Pérez-Lara, Saucedo-Martínez, Salais-Fierro, & Marmolejo-Saucedo, 2016). La Industria 4.0 suministra herramientas tecnológicas que permiten fortalecer la integración de la empresa y mejorar gradualmente los sistemas (Pérez-Lara et al., 2016). En su caracterización del modelo de negocios estos autores definieron tres dimensiones: integración vertical; integración horizontal; y bloques (herramientas) de Industria 4.0. Para la evaluación del nivel de Industria 4.0 de la empresa la integración vertical se mide en porcentaje, la integración horizontal ubica a la empresa de acuerdo con los niveles de madurez del 1 – 4 y el tercer criterio se mide como porcentaje y se representa por una línea diagonal que mide la implementación de las herramientas disponibles de Industria 4.0.

2.3.6.2.14 Modelo de Madurez Industria 4.0

A pesar de que se celebran congresos, conferencias y simposios sobre Industria 4.0, no hay ideas de implementación ni las correspondientes opciones de evaluación. El Modelo de Madurez Industria 4.0 es un modelo para determinar el nivel de madurez real de una empresa y determinar el grado de madurez objetivo. El modelo fue desarrollado por el Instituto para la Producción Inteligente en cooperación con el clúster de mecatrónica del área superior de negocios de Austria. El modelo de preparación ayuda a las empresas a determinar su estado actual en relación con la industria 4.0, así como el estado objetivo. Con base en la estrategia y los objetivos de la empresa, se derivan medidas de mejora para lograr el objetivo del estado Industria 4.0 deseado (Schagerl, Jodlbauer & Brunner, 2016). Este modelo es del tipo prescriptor y la clasificación de madurez se basa en tres dimensiones: datos (big data, enfoques abiertos, seguridad), inteligencia (habilitador, uso de inteligencia) y transformación digital (empleados, transformación). Se utiliza una escala del 0 al 10 para cada dimensión para indicar el grado de madurez por dimensión. Entre mayor sea este número, indica que se han implementado más aspectos de Industria 4.0 en la empresa. Las dimensiones se dividen en criterios y estos a su vez en subcriterios. Cada subcriterio se evalúa del 0 al 10 usando una tabla de referencia. El promedio ponderado de los

subcriterios da el nivel de madurez del criterio de la dimensión. Mientras que el promedio ponderado de los criterios da el nivel de madurez de la dimensión. Por último, el promedio ponderado de las dimensiones da el nivel de madurez de la empresa. Las empresas se benefician de una comprensión individualizada de Industria 4.0 y propuestas de proyectos específicos. La difusión de Industria 4.0 es compatible a través de este modelo de preparación. Además, se llena una base de datos de referencia para permitir comparaciones de empresas y observar el desarrollo histórico de la preparación de la industria 4.0 de varias industrias. Otra característica de este modelo es que, al evaluar la madurez, se determina el estado actual y el estado y la posición deseada en base a la estrategia corporativa, los objetivos, las necesidades del mercado y el estado actual.

2.3.6.2.15 Modelo de Madurez de Schumacher, Erol, y Sihh

Schumacher et al. (2016) desarrollaron un modelo de madurez y una herramienta para evaluar de manera sistemática a compañías de manufactura. El modelo fue desarrollado con propósito científico y práctico. El primero para obtener datos sólidos del estado actual de las empresas y de las estrategias para la Industria 4.0 y extraer factores de éxito potenciales. El propósito práctico es permitir a las empresas evaluar su madurez en Industria 4.0 y reflexionar en la adecuación de sus estrategias actuales. Para el desarrollo del modelo de madurez se enfocaron en cinco modelos y herramientas para evaluar la preparación o la madurez. El objetivo del modelo presentado fue realizar una extensión de modelos existentes a través de un enfoque en aspectos organizacionales. Adicionalmente buscaron transformar los conceptos que consideraron abstractos de manufactura inteligente en ítems que pudieran ser medidos en ambientes reales de producción. El modelo está compuesto de nueve dimensiones: Productos; clientes; operaciones; tecnología; estrategia; liderazgo; sistema de gobierno; cultura; y gente. Cada una de estas dimensiones se divide en diferentes criterios para un total de 62 ítems de madurez. El nivel de madurez se mide del 1 – 5, donde el 1 representa una ausencia de atributos que soporten los conceptos de industria 4.0 y el 5 representa el estado de arte de dichos atributos. La medición, determinación y representación de la madurez se hace en tres etapas: medición de ítems de madurez por medio de un cuestionario; cálculo del nivel de madurez utilizando el software desarrollado; y representación y visualización de la madurez por medio de un reporte y gráficas de radar.

2.3.6.2.16 Modelo de Preparación de Adopción en Manufactura

Soldatos, Gusmeroli, Malo & Di Orio (2016) por su parte desarrollaron su modelo específicamente aplicado para el Internet de la Cosas (IoT). Mencionan en su estudio que la aplicación de las tecnologías futuras de Internet en general y la IoT en particular se pueden clasificar en dos amplias categorías cuando se aplican a la manufactura del futuro: aplicaciones de manufactura virtual basadas en IoT, las cuales conectan a los productos, a las plantas, y partes interesadas (stakeholders), en una cadena virtual de manufactura que permite mejorar el flujo de los procesos de manufactura; y la automatización de la fábrica, la cual se enfoca en la descentralización de la pirámide de automatización de la fábrica de manera que facilite la integración de nuevos sistemas, estaciones de producción y tecnologías como sensores, tarjetas de identificación de radiofrecuencia (RFID, *radio frequency identification*) e impresión 3D, esta integración permitiría mejorar la calidad, el desempeño y repuesta a demandas de los clientes. El Modelo de Preparación de Adopción en Manufactura está compuesto de tres dimensiones: tamaño y capacidad de inversión de la industria de manufactura y su cadena de suministros colaborativa; sector y dominio industrial y su conciencia de ICT; ambiente político y social donde opera la cadena de suministros de manufactura. No se proveen niveles de madurez para el modelo propuesto, sin embargo, si menciona tres niveles de digitalización de manufactura: (1) digitalización de productos, que es impulsado por el desarrollo de IoT en objetos inteligentes conectados, e incluye el desarrollo de mercados de aparatos inteligentes del hogar, vestibles (woreables) y automóviles conectados; (2) procesos digitales, que es impulsado por el desarrollo de sistemas ciber-físicos habilitados por IoT, e incluye la Industria 4.0, una mayor automatización de la producción, y la integración completa de la simulación y análisis (analytics) de datos, realizado desde el diseño del producto hasta el fin de su vida; (3) modelos de negocios digitales, el cual es impulsado por modelos de negocios basados en IoT orientado al servicio, e incluye el reacomodo de las cadenas de valor y difuminar los límites entre productos y servicios.

2.3.6.2.17 Modelo Impuls

El Modelo IMPULS de preparación para Industria 4.0 de Lichtblau et al. (2014), fue uno de los primeros modelos completos y científicamente fundamentados en ser desarrollados (Schumacher et al., 2016). Está compuesto por seis dimensiones: (d1) estrategia y organización; (d2) fábrica

inteligente; (d3) operaciones inteligentes; (d4) productos inteligentes; (d5) servicios basados en datos; y (d6) empleados. Estas dimensiones o categorías a su vez se subdividen en 18 subcategorías: (d1) estrategia, inversión, gestión de la innovación; (d2) modelado digital, infraestructura de equipo, uso de datos, sistemas de TI; (d4) uso de la nube, seguridad de IT, procesos autónomos, compartir información; (d5) análisis de datos en fase de uso, funcionalidades agregadas de ICT; (d6) compartir de datos usados, compartir ganancias, servicios impulsados por datos; adquisición de habilidades, y conjunto de habilidades de los empleados. Los niveles de medición son seis del 0 al 5, denominados respectivamente como: forasteros; principiante; intermedio; experimentado; experto; y mejor desempeño. El modelo evolucionó para uso comercial a través de una autoevaluación en línea que permite a las empresas hacer una evaluación de su grado de preparación y la oferta de asesoría para poder lograr el objetivo de la implementación a industria 4.0. A pesar de su comercialización su versión original está disponible y es una fuente muy valiosa para el desarrollo de otros modelos de madurez o para hacer benchmarking de modelos desarrollados con otras metodologías,

En la tabla 15 se concentraron los modelos de madurez revisados, donde se resumen el modelo o estudio y los niveles y etapas utilizadas por cada modelo.

Tabla 15. *Modelos de madurez/preparación*

No.	Autor	Año	Modelo/Estudio	Niveles/Etapas
1	De Carolis et al.	2017	Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital (<i>DREAMY, Digital Readiness Assessment Maturity model</i>)	(5): Inicial; gestionado; definido; integrado e interoperable; orientado digitalmente
2	Gökalp et al.	2017	Modelo de Madurez de Industria 4.0 (<i>Industry 4.0-MM</i>)	(6): Incompleto; realizado; gestionado; establecido; predecible; optimizado
3	Gracel & Lebkowsky	2017	Modelo de Madurez Tecnología de Manufactura (<i>MTMM, ManuTech Maturity Model</i>)	(5) 1 – 5

4	Jæger & Halse	2017	Modelo de madurez tecnológica de IoT	(8): Madurez 3.0; madurez 4.0 inicial; conectado; mejorado; innovador; integrador; extensivo; madurez 4.0
5	Kermer-Meyer	2017	Modelo de evaluación de madurez	(5): Marco de referencia; visibilidad; transparencia; predictabilidad, adaptabilidad
6	Klötzer & Pflaum	2017	Modelo de madurez para la digitalización	(5): conciencia de digitalización; productos inteligentes en red; empresa orientada a servicio; pensar en sistemas de servicio; empresa impulsada por los datos
7	Kopp & Basl	2017	Modelo de preparación	(6): 0 – 5
8	Rojko	2017	Estudio sobre la preparación	(5) 1 – 5
9	Reder & Klünder	2017	Métricos flexibles del SCOR	(4) Rígida; mediana; promedio; avanzada
10	Erol, et al.	2016	Modelo de tres etapas para la transformación a Industria 4.0	N/A
11	Ganzarain & Errasti	2016	Modelo de madurez de tres etapas	(5): inicial; gestionado; definido; transformado; modelo de negocios detallado
12	Leyh et al.	2016	Modelo de madurez SIMMI 4.0 (<i>System Intefgration Maturity Model Industry 4.0</i>)	(5): Nivel básico de digitalización; digitalización interdepartamental; digitalización horizontal y vertical; digitalización total, digitalización total optimizada
13	Pérez-Lara et al.	2016	Caracterización del modelo de negocio	(4) 1 – 4
14	Schagerl et al.	2016	Modelo de madurez Industria 4.0	Máximo 10 puntos por dimensión
15	Schumacher et al.	2016	Modelo de madurez Industria 4.0	(5): 1 – 5

16	Soldatos et al.	2016	Modelo de preparación de adopción en manufactura	N/A
17	Lichtblau et al.	2014	Modelo IMPULS de preparación para Industria 4.0	(6) Forasteros; Principiante; Intermedio; Experimentado; Experto; Mejor desempeño

Fuente; Elaboración propia

En base a la tabla 15, y a través de un análisis detallado de las dimensiones, categorías o elementos de los modelos revisados se preparó la tabla 16, donde se deriva la propuesta de las categorías que se van a usar en esta investigación. Estas categorías están basadas en el modelo de Schumacher et al. (2016), ya que se consideró que representa de una forma más clara y completa las dimensiones de una empresa, y se complementó con la dimensión de organización.

Tabla 16. *Categorías de evaluación del modelo de madurez propuesto*

Autores	Categoría									
	PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
De Carolis et al.			1, 2	3						4
Gökalp et al.			5	1, 2, 3						4
Gracel & Lebkowsky			5, 7	1, 4, 8	6	3		2	2	
Jæger & Halse				1						
Kermer-Meyer	1, 2		4	3, 6	5, 6	6		6		
Klötzer & Pflaum	3	2	7	4	1			9	5, 8	6
Kopp & Basl	2			3, 4	1				5	
Rojko	4, 5		2, 3		1				6	1, 2
Reder & Klünder			12, 13	1, 2, 3					11	
Leyh et al.	3				1, 2					

Pérez-Lara et al.			3		1, 2, 3					
Schagerl et al.			2, 3			3			3	
Schumacher et al.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Soldatos et al.							3			1
Lichtblau et al.	4, 5		2, 3		1				6	1, 2

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Productos y servicios (PS), clientes (CL), tecnología (TE), estrategia (ES), liderazgo (LI), sistema de gobierno o gobernanza (GO), cultura (CU), capital humano (CH), organización (OR).

Nota 2: El número en cada casilla es el número dentro de cada estudio asignado a una dimensión, categoría o elemento.

2.3.6.3 Categorías del modelo de madurez propuestas.

2.3.6.3.1. Productos y servicios

Esta categoría incluye las dimensiones de productos de Schumacher et al. (2016); soluciones e innovación inteligentes de Kermer-Meyer (2017); de producto inteligente de la perspectiva realización inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017), Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); innovación y cambios de Kopp & Basl (2017), servicios impulsados por datos Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); y desarrollo digital del producto de Leyh et al. (2016).

En la tabla 17 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: productos y servicios, de esta investigación.

Tabla 17. *Categoría: Productos y servicios*

Categoría	Otras categorías incluidas
Productos y servicios:	Productos
	Soluciones inteligentes; innovación inteligente
	Producto Inteligente (3)
	Innovación y cambios (2)
	Servicios impulsados por datos (2)

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.2 Clientes

En esta categoría se agruparon las dimensiones: clientes de Schumacher et al. (2016); y oferta al cliente de las perspectivas de realización del producto como de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017).

En la tabla 18 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: clientes, de esta investigación.

Tabla 18. *Categoría: Clientes*

Categoría	Otras categorías incluidas
Clientes:	Clientes
	Oferta al cliente

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.3 Operaciones

En esta categoría se agruparon operaciones de Schumacher et al. (2016); proceso y monitoreo y control de De Carolis et al. (2017); transformación de proceso de Gökalp et al. (2017); infraestructura y excelencia de proceso de Gracel & Lebkowsky (2017); producción inteligente de Kermer-Meyer (2017); organización de proceso de las perspectivas de realización del producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017); de la dimensión de fábrica inteligente: modelado digital e infraestructura de equipo de Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); operación inteligente de Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); tiempo de ciclo de manufactura y velocidad de procesamiento de Reder & Klünder (2017); bloques de industria 4.0 (robots autónomos, simulaciones, realidad aumentada, fabricación 3D, IIoT) de Pérez-Lara et al. (2016); inteligencia: habilitadores; uso de inteligencia artificial; transformación digital: modelado digital continuo, simulación y optimización, reemplazo de material con digital Schagerl et al. (2016).

En la tabla 19 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: operaciones, de esta investigación.

Tabla 19. *Categoría: operaciones*

Categoría	Otras categorías incluidas
Operaciones:	Operaciones
	Proceso; Monitoreo y control
	Transformación de proceso
	Infraestructura; Excelencia de proceso
	Producción inteligente
	Organización de proceso
	Fábrica inteligente: modelado digital, infraestructura de equipo (2)
	Operación inteligente (2)
	Tiempo de ciclo de manufactura; velocidad de procesamiento
	Bloques de industria 4.0 (robots autónomos, simulaciones, realidad aumentada, fabricación 3D, IIoT)
	Inteligencia: habilitadores; uso de inteligencia artificial
	Transformación digital: modelado digital continuo, simulación y optimización, reemplazo de material con digital

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.4 Tecnología

Tecnología (3) Schumacher et al. (2016), De Carolis et al. (2017), Kopp & Basl (2017); gestión de activos, control de datos y gestión de aplicaciones de Gökalp et al. (2017); tecnologías esenciales, integración en tiempo real y ciberseguridad Gracel & Lebkowsky (2017); tecnología de IoT de Jæger & Halse (2017); redes inteligentes y condiciones del marco de referencia (TI) de Kermer-Meyer (2017); sistema de TI complementario de las perspectivas de realización del

producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017); datos y seguridad de Kopp & Basl (2017); conciencia del IoT, utilización de tecnología, y aplicaciones de TI en la nube Reder & Klünder (2017); criterios de tecnologías transversales de Leyh et al. (2016); bloques de industria 4.0 (big data y análisis de datos; la nube; ciberseguridad) Pérez-Lara et al. (2016); datos: big data, enfoques abiertos, seguridad Schagerl et al. (2016); sector y dominio industrial y su conciencia de ICT de Soldatos et al. (2016); Fabrica inteligente: sistemas TI de Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014).

En la tabla 20 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: tecnología, de esta investigación.

Tabla 20. *Categoría: Tecnología*

Categoría	Otras categorías incluidas
Tecnología:	<p>Tecnología (3)</p> <p>Gestión de activos; control de datos; gestión de aplicaciones</p> <p>Tecnologías esenciales; integración en tiempo real; ciberseguridad</p> <p>Tecnología de IoT</p> <p>Redes inteligentes; Condiciones del marco de referencia (TI)</p> <p>Sistema de TI complementario</p> <p>Datos y seguridad</p> <p>Conciencia del IoT; utilización de tecnología; aplicaciones de TI en la nube</p> <p>Criterios de tecnologías transversales</p> <p>Bloques de industria 4.0 (big data y análisis de datos; la nube; ciberseguridad)</p> <p>Datos: big data, enfoques abiertos, seguridad</p> <p>Sector y dominio industrial y su conciencia de ICT</p> <p>Fabrica inteligente: sistemas TI</p>

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.5 Estrategia

Estrategia (4) de Schumacher et al. (2016), Kopp & Basl (2017), Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); alineación y conciencia estratégica de Gracel & Lebkowsky (2017); modelos de negocios, y condiciones del marco de referencia (estrategia) Kermer-Meyer (2017); desarrollo estratégico de las perspectivas de realización del producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017); integración vertical (2), e integración horizontal (2) de Leyh et al. (2016), Pérez-Lara et al. (2016); bloques de industria 4.0 (integración de sistemas horizontales y verticales) Pérez-Lara et al. (2017).

En la tabla 21 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: clientes, de esta investigación.

Tabla 21. *Categoría: Estrategia*

Categoría	Otras categorías incluidas
Estrategia:	Estrategia (4) Alineación y conciencia estratégica Modelos de negocios; Condiciones del marco de referencia (estrategia) Desarrollo estratégico Integración vertical (2); integración horizontal (2) Bloques de industria 4.0 (integración de sistemas horizontales y verticales)

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.6 Liderazgo

Esta categoría incluye a liderazgo de Schumacher et al. (2016); gestión del conocimiento de Gracel & Lebkowsky (2017); condiciones del marco de referencia: recursos Kermer-Meyer (2017); y transformación digital: liderazgo Schagerl et al. (2016).

En la tabla 22 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: clientes, de esta investigación.

Tabla 22. *Categoría: Liderazgo*

Categoría	Otras categorías incluidas
Liderazgo:	Liderazgo Gestión del conocimiento Condiciones del marco de referencia: recursos Transformación digital: liderazgo

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.7 Sistema de gobierno (Gobernanza)

Esta categoría incluye a gobernanza de Schumacher et al. (2016); y ambiente político y social donde opera la cadena de suministros de manufactura de Soldatos et al. (2016).

En la tabla 23 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: sistemas de gobierno, de esta investigación.

Tabla 23. *Categoría: Sistema de gobierno*

Categoría	Otras categorías incluidas
Sistema de gobierno:	Gobernanza Ambiente político y social donde opera la cadena de suministros de manufactura

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.8 Cultura

Cultura (2) Schumacher et al. (2016), Gracel & Lebkowsky (2017); condiciones del marco de referencia: cultura de Kermer-Meyer (2017); cultura innovadora de las perspectivas de realización del producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017).

En la tabla 24 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: cultura de esta investigación.

Tabla 24. *Categoría: Cultura*

Categoría	Otras categorías incluidas
Cultura:	Cultura (2) Condiciones del marco de referencia: cultura Cultura innovadora

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.9 Capital humano

Gente (2) de Schumacher et al. (2016), Gracel & Lebkowsky (2017); cooperación, y competencias de las perspectivas de realización del producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017); empleados (2) de Kopp & Basl (2017); recursos humanos de Rojko (2017), Lichtblau et al. (2014); tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional Reder & Klünder (2017); Transformación digital: personal (capacidad y disposición) de Schagerl et al.

En la tabla 25 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: capital humano, de esta investigación.

Tabla 25. *Categoría: Capital humano*

Categoría	Otras categorías incluidas
Capital humano:	Gente (2) Cooperación; competencias Empleados (2) Recursos humanos Tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional Transformación digital: personal (capacidad y disposición)

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.3.10 Organización

Organización (3) De Carolis et al. (2017), Alineación organizacional de Jæger & Halse (2017); Organización estructural de las perspectivas de realización del producto y de la aplicación inteligente del producto de Klötzer & Pflaum (2017); Tamaño y capacidad de inversión de la industria de manufactura y su cadena de suministros colaborativa de Soldatos et al. (2016).

En la tabla 26 se resumen las categorías de los diferentes estudios incluidas dentro la categoría: organización, de esta investigación.

Tabla 26. *Categoría: Organización*

Categoría	Otras categorías incluidas
Organización:	Organización (3) Alineación organizacional Organización estructural Tamaño y capacidad de inversión de la industria de manufactura y su cadena de suministros colaborativa

Fuente: Elaboración propia

La tabla 27 es una consolidación de las tablas 16 – 25 donde se muestran las 10 categorías seleccionadas y las dimensiones y/o categorías incluidas en el modelo de esta investigación.

Tabla 27. *Resumen de categorías de madurez*

Categoría	Otras categorías agrupadas
Productos y servicios:	Productos Soluciones inteligentes Innovación inteligente Producto Inteligente (3) Innovación y cambios

	Servicios impulsados por datos (2)
	Desarrollo digital del producto
Clientes:	Clientes
	Oferta al cliente
Operaciones:	Operaciones
	Proceso
	Monitoreo y control
	Transformación de proceso
	Infraestructura; Excelencia de proceso
	Producción inteligente
	Organización de proceso
	Fábrica inteligente: modelado digital, infraestructura de equipo (2)
	Operación inteligente (2)
	Tiempo de ciclo de manufactura; velocidad de procesamiento
	Bloques de industria 4.0 (robots autónomos, simulaciones, realidad aumentada, fabricación 3D, IIoT)
	Inteligencia: habilitadores; uso de inteligencia artificial
	Transformación digital: modelado digital continuo, simulación y optimización, reemplazo de material con digital
Tecnología:	Tecnología (3)
	Gestión de activos; control de datos; gestión de aplicaciones
	Tecnologías esenciales; integración en tiempo real; ciberseguridad
	Tecnología de IoT
	Redes inteligentes; Condiciones del marco de referencia (TI)
	Sistema de TI complementario
	Datos y seguridad

Infraestructura; Excelencia de proceso
Conciencia del IoT; utilización de tecnología; aplicaciones de TI en la nube
Criterios de tecnologías transversales
bloques de industria 4.0 (big data y análisis de datos; la nube; ciberseguridad)
Datos: big data, enfoques abiertos, seguridad
Sector y dominio industrial y su conciencia de ICT
Fabrica inteligente: sistemas TI

Estrategia: Estrategia (4)
Alineación y conciencia estratégica
Modelos de negocios; Condiciones del marco de referencia (estrategia)
Desarrollo estratégico
Integración vertical (2); integración horizontal (2)
Bloques de industria 4.0 (integración de sistemas horizontales y verticales)

Liderazgo: Liderazgo
Gestión del conocimiento
Condiciones del marco de referencia: recursos
Transformación digital: liderazgo

Sistema de gobierno: Gobernanza
Ambiente político y social donde opera la cadena de suministros de manufactura

Cultura: Cultura (2)
Condiciones del marco de referencia: cultura
Cultura innovadora

Capital humano: Gente (2)
Cooperación; competencias
Empleados (2)

Infraestructura; Excelencia de proceso
Recursos humanos
Tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional
Transformación digital: personal (capacidad y disposición)

Organización:	Organización (3) Alineación organizacional Organización estructural Tamaño y capacidad de inversión de la industria de manufactura y su cadena de suministros colaborativa
---------------	---

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.4 Niveles de madurez propuestos

De los modelos estudiados dos, Reder & Klünder, Pérez-Lara et al, usan niveles del 1 – 4; ocho, De Carolis et al., Gracel & Lebkowsky, Kermer-Meyer, Klötzer & Pflaum, Rojko, Ganzarain & Errasti, Leyh et al., Schumacher et al., utilizan niveles del 1 – 5; dos, Kopp & Basl, Lichtblau et al., usan del 0 – 5; uno niveles del 1 – 6, Gökalp et al.; y uno de 1 – 8, Jæger & Halse.

Por lo que para esta investigación se usarán niveles del 1 – 7 denominados respectivamente: 1 = Foráneo; 2 = Neófito; 3 = Novato; 4 = Intermedio; 5 = Convertido; 6 = Competente; 7 = Madurez 4.0, en la tabla 28 se explican estos niveles y se relacionan de manera porcentual.

Tabla 28. *Niveles de medición de la madurez y/o grado de preparación como I4.0*

Nivel	Categoría	Descripción	Puntaje		% Madurez
1	Foráneo	La empresa no tiene idea o intenciones de realizar una transformación digital hacia I4.0	0	78	14.29%
2	Neófito	Empresa recientemente adherida a la transformación como I4.0, o que cuenta con algunos elementos de la I4.0	79	156	28.57%
3	Novato	La empresa ha desarrollado más elementos en el camino digital, hacia la I4.0	157	234	42.86%
4	Intermedio	La empresa se encuentra en el nivel medio hacia la transformación digital como I4.0	235	312	57.14%
5	Convertido	La empresa se puede considerar como que ha completado la conversión a I4.0, pero no ha logrado obtener consistencia	313	390	71.43%
6	Competente	La empresa se ha desempeñado como una empresa I4.0 la mayor parte del tiempo	391	468	85.71%
7	Madurez 4.0	La empresa ha alcanzado el nivel de madurez como industria 4.0 y esta lista para la 5ta conversión	469	546	100.00%

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.5 Modelo de implementación de Industria 4.0

En la figura 2 se muestra un modelo que puede permitir a las empresas de cualquier orientación insertarse en las nuevas cadenas de valor, mientras que la figura 3 exhibe las etapas de la construcción de un modelo de madurez para ser aplicado en Industria 4.0.

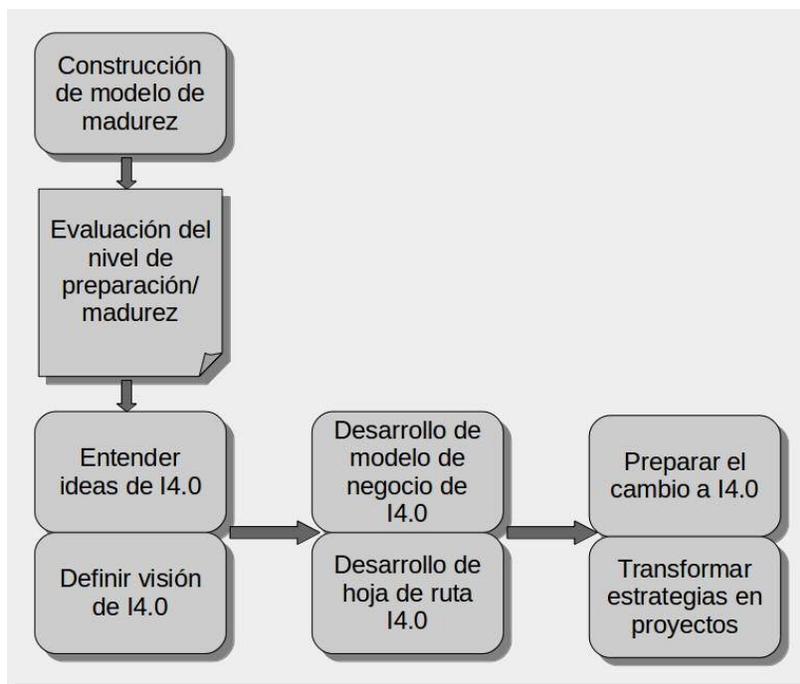


Figura 2. Modelo de transición a Industria 4.0

Fuente: Jacquez-Hernández & López (2018).

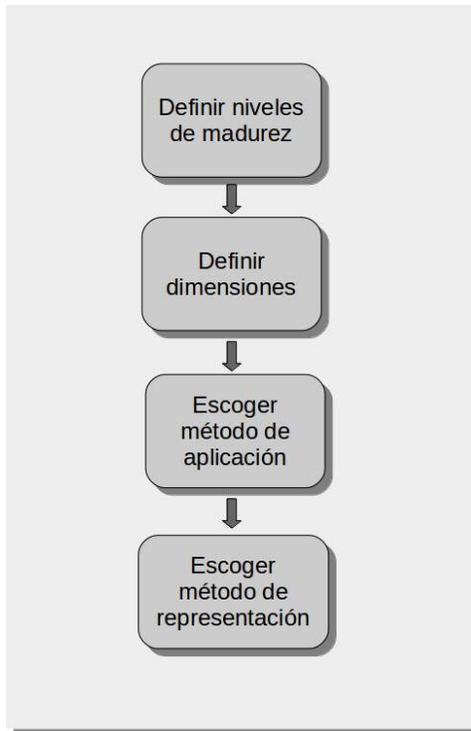


Figura 3. Etapas para la construcción del modelo de madurez

Fuente: Jacquez-Hernández & López (2018).

2.3.6.6 Impacto de la Industria 4.0

Aun cuando la Industria 4.0 está iniciando, y faltan algunos años para el despliegue amplio de sus tecnologías, sus efectos ya se están sintiendo en la naturaleza de la competencia y estrategias corporativas en muchas industrias. El uso extendido de las tecnologías de la Industria 4.0 tiene el potencial de transformar la organización y localización de la producción manufacturera mundial, además de borrar la distinción entre productos y servicios, a la par del surgimiento de modelos de negocios nuevos (Strange & Zucchella, 2017).

Por otro lado, se deberán definir los instrumentos de políticas públicas adecuados a corto, mediano y largo plazo para la Industria 4.0, así como la adaptación en niveles de país, región y global (Secretaría de Planeación y Políticas, 2015).

Se estima que la cuarta revolución industrial va a reducir el número de empleos no calificados y aumentar el número de empleos especializados (Caro, E., 2017).

Szalavetz (2017) encontró en un estudio realizado en Hungría que el uso de algunas herramientas de la I 4.0, a las cuales denominó tecnologías de manufactura avanzada (AMT, Advanced Manufacturing Technologies), tuvieron un impacto positivo en ecoeficiencia (desempeño medioambiental): en el campo de gestión de calidad, optimización de proceso, e ingeniería de proceso y producto.

A medida que aumenta la población de los países en desarrollo, la población en los países desarrollados está disminuyendo. La población de Europa ha ido disminuyendo año tras año, y más significativamente en Europa del Este. Además, debe enfrentarse el problema del envejecimiento de las sociedades, especialmente en los países de la UE. Dichas tendencias demográficas sugieren que las nuevas tecnologías, es decir, la Industria 4.0 y las tecnologías inteligentes, que son capaces de aumentar las tasas de producción a pesar de la disminución de las poblaciones, son cada vez más importantes (Háry, 2016).

2.4 Modelo Ex-Ante y planteamiento de hipótesis

2.4.1 Modelo conceptual Ex-Ante.

Al inicio de la investigación se planteó un modelo teórico que involucraba los factores críticos de éxito para evolucionar hacia Industria 4.0, la medición del grado de preparación o madurez como Industria 4.0 y el impacto de la Industria 4.0, dónde se propusieron las siguientes relaciones mostradas en la figura 4.

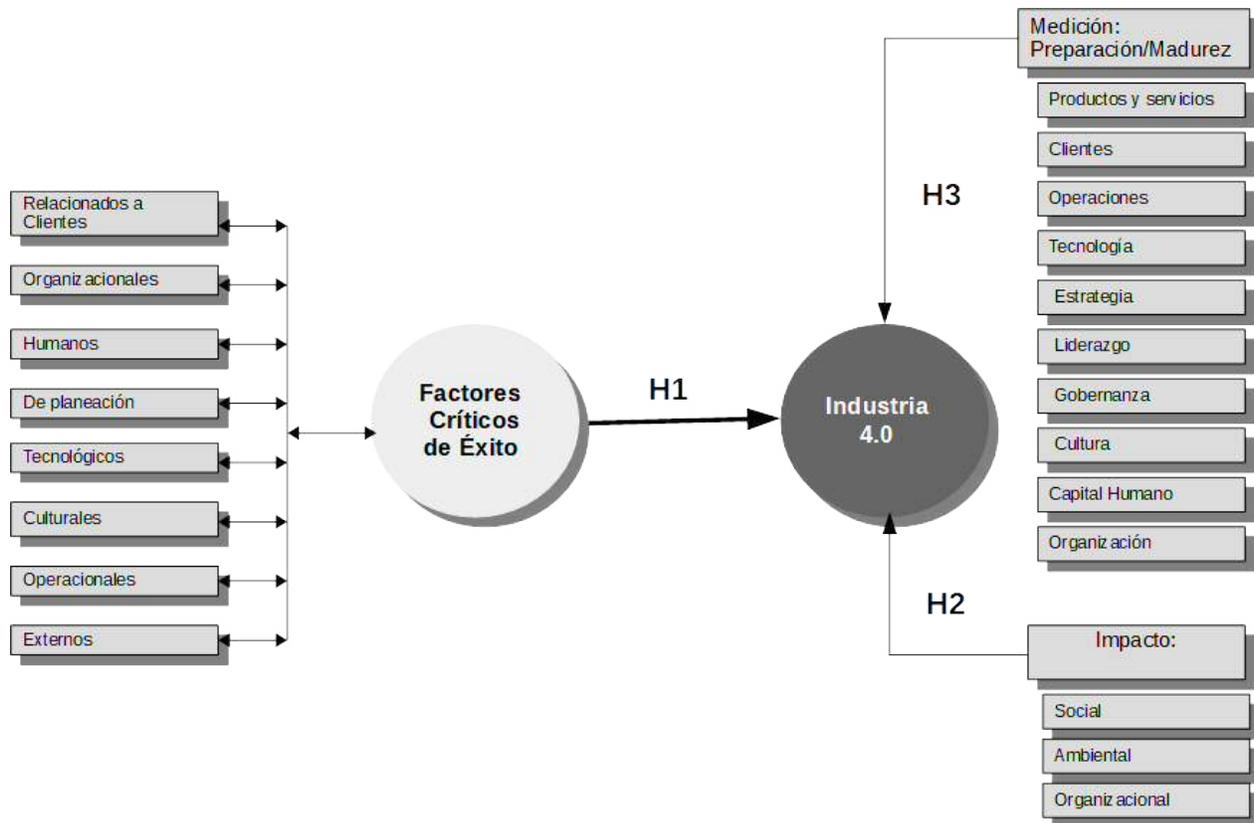


Figura 4. Modelo conceptual Ex-Ante propuesto a ser probado en esta investigación
Fuente: Elaboración propia

Como se apuntó arriba esta investigación busca probar que la variable independiente: Factores Críticos de Éxito (FCE), está relacionada con la variable dependiente Industria 4.0 en dos dimensiones; medición del grado de preparación o madurez, y el impacto de la Industria 4.0. Durante la revisión de la literatura no se encontraron modelos similares, por lo que no se encontraron hipótesis de donde partir. Sin embargo, tanto las variables dependientes, la variable independiente y las categorías dentro de cada una de ellas, están sustentadas en una exhaustiva y completa revisión de la literatura disponible en ese momento. De la misma manera las hipótesis planteadas a continuación parten con esta limitación, ya que el tema Industria 4.0 en general y las variables identificadas en esta investigación, son áreas emergentes de investigación.

2.4.2 Planteamiento de hipótesis

Estas hipótesis se plantan para que estén alineadas con los objetivos y las preguntas de investigación.

2.4.2.1 Hipótesis general

HG: Existe una relación directa entre los factores críticos de éxito, el grado de preparación/madurez y el impacto en la evolución hacia Industria 4.0.

2.4.2.2 Hipótesis particulares

H1: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0.

H2: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la industria 4.0.

H3: Existe una relación directa entre el grado de preparación/madurez con el impacto de la Industria 4.0.

H4: Se puede determinar el grado de preparación/madurez como industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California.

H5: Se puede determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia la Industria 4.0.

H6: La Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C.

2.5 Marco contextual

2.5.1 Estructura de la industria electrónica

2.5.1.1 Clasificación

La industria electrónica se puede clasificar siguiendo el Sistema de Clasificación de América del Norte (SCIAN), la versión 2013 clasifica las industrias manufactureras con los códigos 31- 33, y considera seis subsectores para la manufactura electrónica (ProMéxico, 2014), ver tabla 29.

Tabla 29. *Clasificación de la Industria Electrónica por subsector*

Código ISIC	Clasificación	Subsector	Definición SCIAN
Rev. 4	SCIAN 2013		
C262	3341	Fabricación de computadoras y equipo	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación y ensamble de

		periférico.	computadoras y equipo periférico, como unidades de almacenamiento, impresoras, lectores ópticos y magnéticos, monitores y reguladores.
C263	3342	Fabricación de equipo de comunicación.	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de equipo de comunicación, como equipo telefónico; equipo de transmisión y recepción de señales de radio, televisión abierta, por cable y satelital, de equipo de comunicación inalámbrico, y otros equipos de comunicación.
C264	3343	Fabricación de equipo de audio y de video.	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de equipo de audio y de video, como televisores, radios, estéreos, videocaseteras, reproductores de sonido, amplificadores, ecualizadores, sintetizadores, videocámaras de uso doméstico y micrófonos
C265, C266	3345	Fabricación de instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico.	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de relojes y otros instrumentos de medición, control y navegación, y equipo médico electrónico.
C268	3346	Fabricación y reproducción de medios magnéticos y ópticos.	Unidades económicas dedicadas principalmente a la fabricación de medios magnéticos y ópticos, como cintas magnéticas vírgenes, discos compactos (CD), de video digital (DVD), videocasetes y disquetes, y a la reproducción masiva de discos compactos (CD), de video digital (DVD) y videocasetes grabados, y de software en discos compactos (CD) y otros medios electrónicos.

Fuente: Basado en ProMéxico (2014) actualizado con datos de International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev. 4, y SCIAN 2013.

2.5.1.2 Cadena Productiva

Los productos electrónicos como las computadoras, televisores, equipos de audio, teléfonos tanto fijos como celulares, están compuestos de: Placas electrónicas (Printed Circuit Board, Assembly, PCBA), partes plásticas, partes metálicas, material impreso (instructivos, insertos, manuales) y material de empaque (tarjetas, clamshell, blister, separadores, bolsas, cajas, etc.), estos partes son manufacturados en una cadena productiva como la representada en la figura 5.

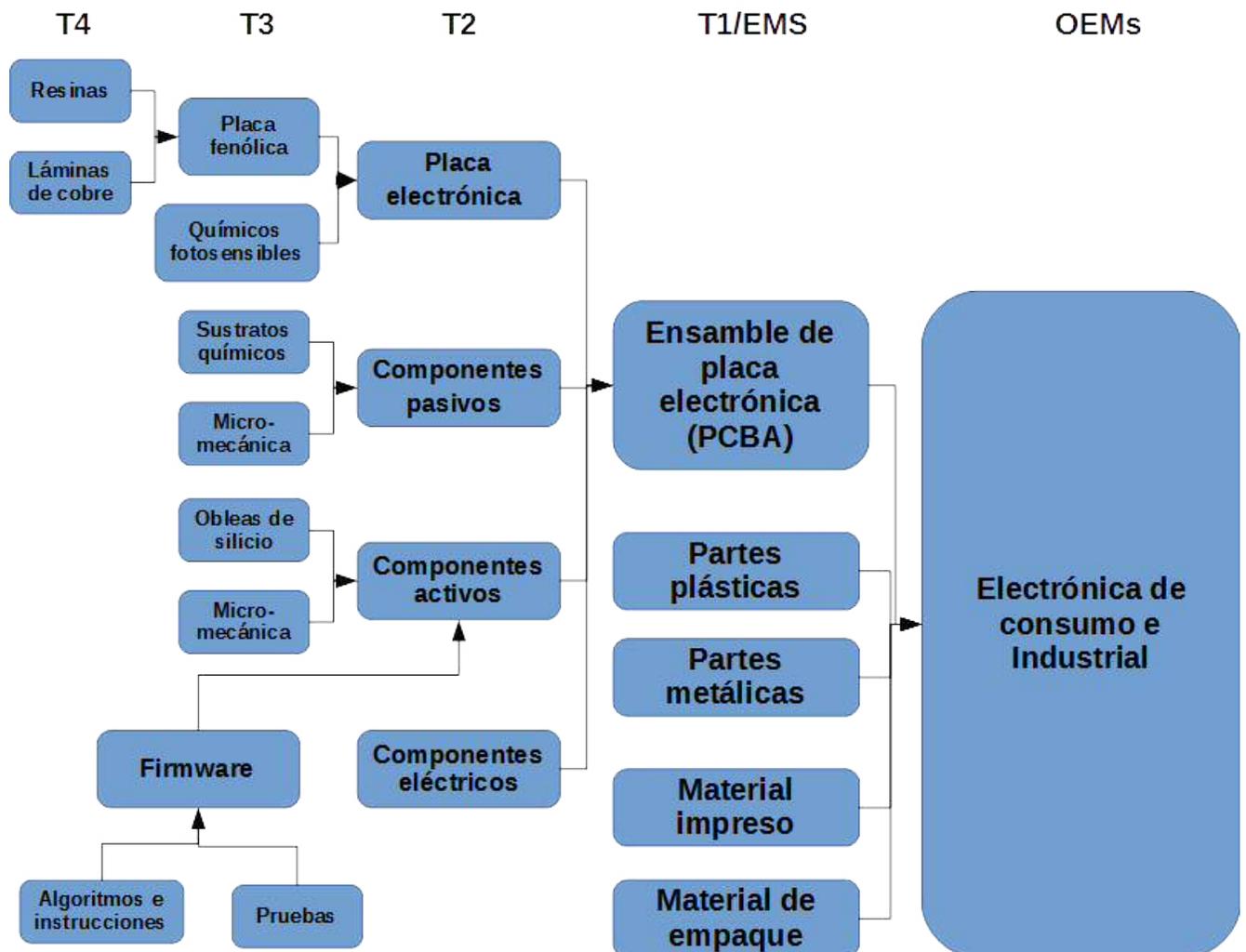


Figura 5. Cadena productiva de la Industria Electrónica

Fuente: Elaborada en base a ProMéxico (2014)

2.5.2 Participantes

2.5.2.1 Unidades económicas del ramo de la electrónica de Baja California

De acuerdo con los datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), las unidades económicas para el país son 5,032,511, de las cuales 527,962 están dedicadas a la industria manufacturera, y de estas 888 unidades económicas están dedicadas a la industria electrónica. En la tabla siguiente se resumen estos datos además de los datos para Baja California, ver tabla 30.

Tabla 30. *Unidades económicas de la Industria Electrónica*

	Código ²	México	Baja California
Totales	Todos	5,032,511	118,044
Industria Manufacturera	31-33	527,962	8,324
Industria Electrónica	334	888	173
% Industria Manufacturera	N/A	10.49%	22.36%
% Industria Electrónica ¹ .	N/A	0.17%	0.15%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DENUE

*Nota*¹: % de la industria electrónica con respecto a la industria manufacturera.

*Nota*²: Los códigos son de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN 2013).

La descripción de los códigos SCIAN (2013) para industrias manufactureras y e industrias electrónicas se detallan en la tabla 31.

Tabla 31. Códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN 2013).

Código	Descripción
31 – 33	Industrias Manufactureras
334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos

3341	Fabricación de computadoras y equipo periférico.
3342	Fabricación de equipo de comunicación.
3343	Fabricación de equipo de audio y de video.
3344	Fabricación de componentes electrónicos.
3345	Fabricación de instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico.
3346	Fabricación y reproducción de medios magnéticos y ópticos.

Fuente: Elaboración propia con datos de SCIAN (2013)

2.5.3 Estado de la Industria Electrónica en el mundo

A nivel mundial las exportaciones de productos electrónicos en el año 2000 fueron las más altas de todos los sectores, representaron un 15.1% del comercio total, seguido de maquinaria y equipo de transporte 13.8%, minería y petróleo 12.6%, automotriz 7.5%, químicos 7.5%. (Ham Aburto, 2006).

Los países emergentes se integraron a la producción de este sector a partir de la manufactura de bienes más que a la generación de servicios, existe una especialización de los productos a escala mundial, los países industrializados (Estados Unidos y países de Europa Occidental) se especializan en conocimiento y en el sector de comunicaciones y los países emergentes manufacturan equipo a partir de estándares tecnológicos (producción de equipos de información, computadoras y semiconductores). Dichos países han logrado ciertas ventajas competitivas para poder participar en la cadena de valor agregado de la tecnología de la información a partir de los eslabonamientos productivos a escala mundial. (Ham Aburto, 2006, sp).

Para el año 2011 el Equipo Eléctrico y Óptico (que incluye los productos electrónicos) representó el 20.51% del comercio mundial solo detrás de Equipo de Transportación que con un 20.94% ocupó el primer lugar, ver tabla 32.

Tabla 32. *Datos ordenados del comercio mundial en VA (Valor Agregado), 2011*

Mercancía	VA (Millones USD)	Porcentaje
Equipo de transportación	\$882,873.50	20.94%
Equipo electrónico y óptico	\$864,609.40	20.51%
Químicos y productos minerales no metálicos	\$690,455.50	16.38%
Maquinaria y equipo, no eléctrico	\$506,380.50	12.01%
Alimentos, bebidas y tabaco	\$471,146.10	11.17%
Textiles, productos textiles, pieles y calzado	\$398,627.70	9.45%
Otros	\$221,310.00	5.25%
Metales básicos y productos metálicos fabricados	\$104,798.00	2.49%
Madera, papel, productos de papel, impresión y publicidad	\$76,248.00	1.81%

Fuente: Elaboración propia con datos de la OECD.stat, http://stats.oecd.org/index.aspx?DatasetCode=TIVA_2016_C1

Desagregando los productos electrónicos del equipo eléctrico y óptico, estos representaron por sí solos 16.16%, detrás del equipo de transportación 20.94% y de productos químicos 16.38%, ver tabla 33.

Tabla 33. *Datos del comercio mundial en VA (Valor Agregado), 2011, productos electrónicos desagregados*

Mercancía	VA (Millones USD)	Porcentaje
Equipo de transportación	\$882,873.50	20.94%
Químicos y productos minerales no metálicos	\$690,455.50	16.38%
Computadoras, equipo electrónico y óptico	\$681,175.60	16.16%
Maquinaria y equipo, no eléctrico	\$506,380.50	12.01%
Alimentos, bebidas y tabaco	\$471,146.10	11.17%

Textiles, productos textiles, pieles y calzado	\$398,627.70	9.45%
Otros	\$221,310.00	5.25%
Aparatos y maquinaria, eléctrica	\$183,433.80	4.35%
Metales básicos y productos metálicos fabricados	\$104,798.00	2.49%
Madera, papel, productos de papel, impresión y publicidad	\$76,248.00	1.81%

Fuente: Elaboración propia con datos de la OECD.stat, http://stats.oecd.org/index.aspx?DatasetCode=TIVA_2016_C1

2.5.3.1 Producción y Consumo Global de la Industria Electrónica

En el año 2014, la producción mundial de dispositivos electrónicos fue de 3,789 miles de millones de dólares (mmd), el estimado para 2020 es de 4,668 mmd, con una Tasa Media Anual real de Crecimiento (TMCA) de 3.5% para el periodo comprendido del 2014 al 2020. El consumo mundial de electrónicos para 2014 fue de 3,730 mmd, y se estima en 4,427 mmd para el 2020, ver tabla 34.

Tabla 34. *Producción y consumo global (2014)*

Producción	3,789 mmd
Tasa media de crecimiento anual real de producción (TCMA) 2014-2020	3.5%
Consumo	3,730 mmd
Tasa media de crecimiento anual real de consumo 2014-2020	4.5%

Fuente: Elaborado con datos de ProMéxico (2014).

2.5.3.1.1 Producción

Dentro de la Industria Electrónica el subsector con mejor desempeño fue el de Semiconductores con 1,264 mmd y una TMCA real para el periodo 2014-2020 de 5.5%, mientras que el de menor

desempeño fue el subsector de Audio y Video con 394 mmd y un TMCA de 5.0% mmd, ver tabla 35.

Tabla 35. *Producción global por subsector de la Industria Electrónica, 2014*

Código ISIC Rev. 4	Subsector	Producción 2014 (mmd)	% Participación
C261	Semiconductores	1,264	33%
C265, C266	Equipo médico e instrumentos de precisión y ópticos	866	23%
C262	Computación	718	19%
C263	Comunicaciones	546	14%
C264	Audio y Video	395	11%
	Total	3,789	100%

Fuente: ProMéxico (2014), con datos de IHS y actualizados para Código ISIC Rev. 4,

2.5.3.1.2 Consumo

El consumo global de productos electrónicos para el 2014 tuvo un valor de 3,730 mmd, y se estima que para el año 2020 el consumo alcanzará los 4,427 mmd, con una TMCA real del 4.5% en el periodo de 2014-2020.

La figura 6 representa la perspectiva de crecimiento de la producción mundial de la industria electrónica, real para 2014 y proyectada para 2015 a 2020, comparada con el consumo en el mismo periodo.

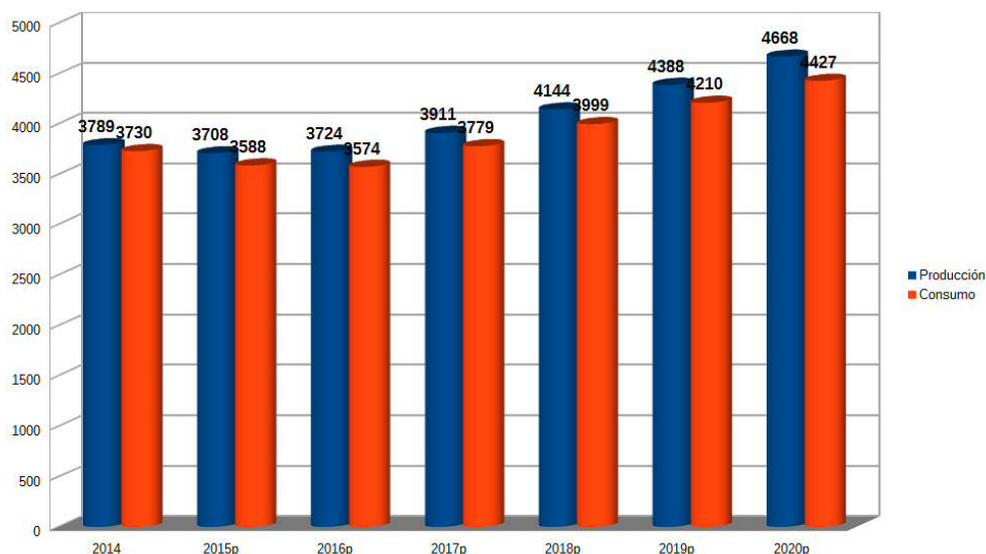


Figura 6. Gráfica de la perspectiva de la producción y consumo mundial de la industria electrónica, 2014-2020 (mmd).

Nota 1. TMCA 5.0% para producción, TMCA 4.5% para consumo; /p: pronóstico.

Fuente: Elaborado de ProMéxico (2014) con datos de IHS.

2.5.3.2 Distribución Geográfica

En el 2014, la región de Asia fue la mayor productora de la Industria Electrónica, puesto que tres de los principales productores: China, Corea del Sur y Taiwán están en esta región. La distribución completa está en la Tabla 36. Norteamérica incluye a México, Canadá y EUA.

Tabla 36. Distribución de la producción mundial por región en la industria electrónica, 2014

Región	%
Asia-Pacífico	67%
América del Norte (Canadá, EUA, México)	15%
Unión Europea	11%
Latinoamérica	1%
Resto del Mundo	6%

Fuente: ProMéxico (2014) con datos de IHS.

En la distribución del consumo de productos electrónicos, la región Asia-Pacífico también fue la de mayor consumo, en este caso por las contribuciones de China, Japón y Taiwán, ver tabla 37.

Tabla 37. *Consumo mundial por región de la industria electrónica, 2014*

Región	%
Asia-Pacífico	51%
América del Norte (Canadá, EUA, México)	22%
Unión Europea	15%
Latinoamérica	3%
Resto del Mundo	9%

Fuente: ProMéxico (2014) con datos de IHS.

2.5.4 Estado de la Industria Electrónica en México

Según la Cadena Productiva de la Electrónica, A. C. (CADELEC) (como reporta Ham Aburto, 2006), hasta el año 2000, México se encontraba dentro de los primeros 10 países exportadores de la industria electrónica (en el 10mo puesto) con 46.2 miles de millones de dólares, ver figura 7.

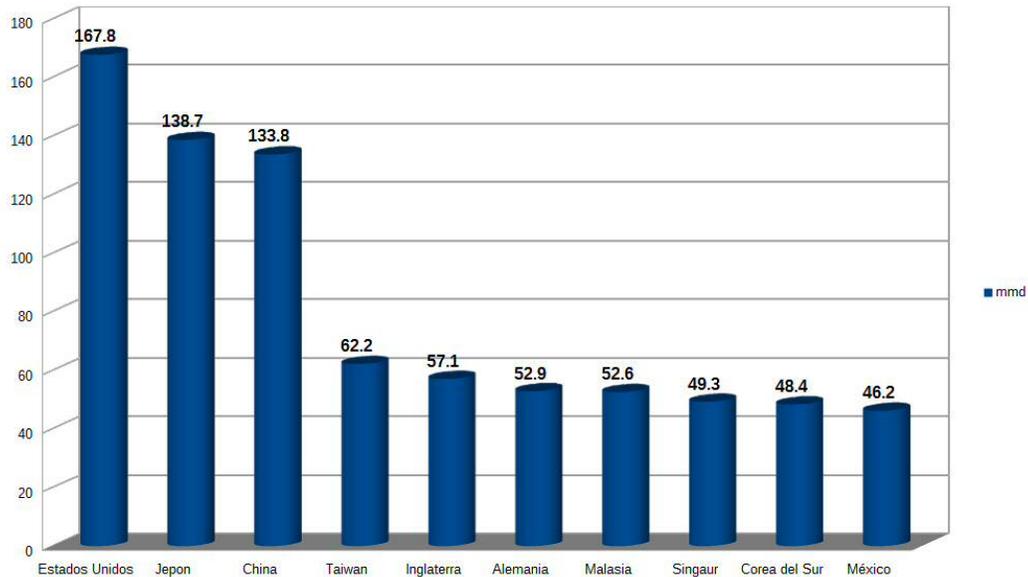


Figura 7. Gráfica de los principales países exportadores de la Industria Electrónica, 2000.
Fuente: Aburto (2006) con datos de CADELEC.

Se ha desarrollado una especialización a nivel regional por tipo de producto, distinguiéndose cuatro grandes agrupamientos por valor de producción: Baja California en la fabricación de equipos de audio y video; Jalisco en el segmento de equipo de cómputo y telecomunicaciones; Estado de México en telecomunicaciones; y Chihuahua en productos de audio y video. (Ham Aburto, 2006).

Por otro lado, de acuerdo con ProMéxico (2014), México se ha logrado posicionar como un país exportador y ensamblador de productos electrónicos a nivel mundial, gracias a grandes empresas trasnacionales como: Samsung, LG, Toshiba, Foxconn, Flextronics e Intel. Algunas de estas empresas además de operar planas manufactureras, han establecido Centros de Ingeniería y Diseño, en los cuales trabajan ingenieros mexicanos.

Para el 2014 las importaciones de productos electrónicos superaron las exportaciones por poco más de 5,000 mmd (miles de millones de dólares), mientras que la inversión directa fue de 392 mmd, mientras que de 2010 a 2014 fue de alrededor de 5,000 mmd, ver la tabla 38 para estos y otros indicadores de la industria electrónica para 2014.

Tabla 38. *Indicadores de la Industria Electrónica en México, 2014*

Indicador	Dato
Exportaciones	80,125 mmd
Importaciones	85,217 mmd
IED 2014	392 mmd
IED 2010-2014	5,114 mmd
Número de unidades económicas	766
Total, de empleados	478,816

Fuente: ProMéxico (2014), con datos de INEGI, IHS, Global Trade Atlas y Secretaría de Economía,

México es el 1er exportador de TV de pantalla plana y el 4to exportador de computadoras, micrófonos, altavoces, y auriculares a nivel mundial (ProMéxico, 2014).

2.5.4.1 Producción en México

La producción del sector en 2014 se estima que fue de 61,905 mmd. Se pronostica que el TCMA real será de 3.2% para el periodo comprendido del 2014 al 2020, ver figura 8.

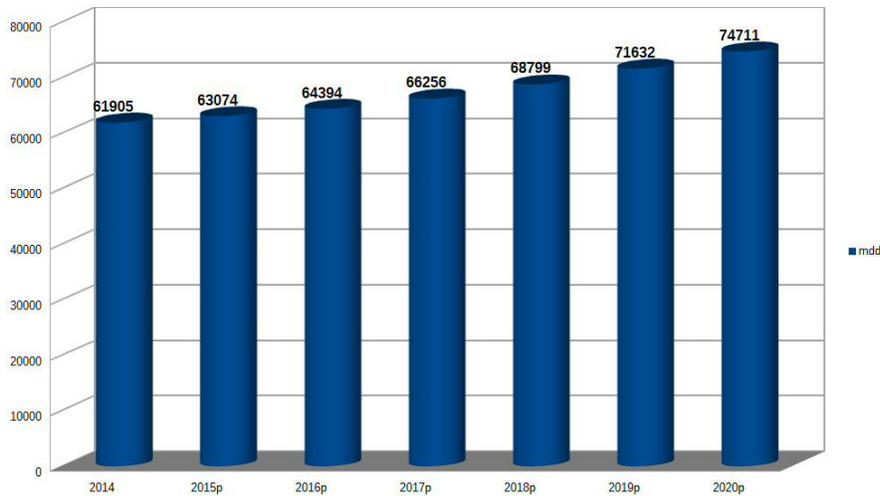


Figura 8. Gráfica de la perspectiva de la producción en México, 2014-2020 (mdd).

Fuente: ProMéxico (2014), con datos de INEGI e IHS.

La distribución de la producción por subsector está liderada por componentes electrónicos con un 34%, mientras que el de menor aportación es el de medios magnéticos y ópticos con un 2%, ver tabla 39.

Tabla 39. Participación por subsector en la producción (2014)

Subsector	%
Componentes electrónicos	34%
Audio y video	25%
Equipo de computo	16%
Equipo de comunicación	15%
Instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico	8%
Medios magnéticos y ópticos	2%

Fuente: Elaborado de ProMéxico (2014), con datos de INEGI.

2.5.4.2 Consumo en México

En cuanto al consumo, el estimado para México en el año 2014 fue de 66,997 mmd, y el pronóstico para el periodo 2014-2020 es que tenga una TMCA real del 4.5%, ver figura 9.

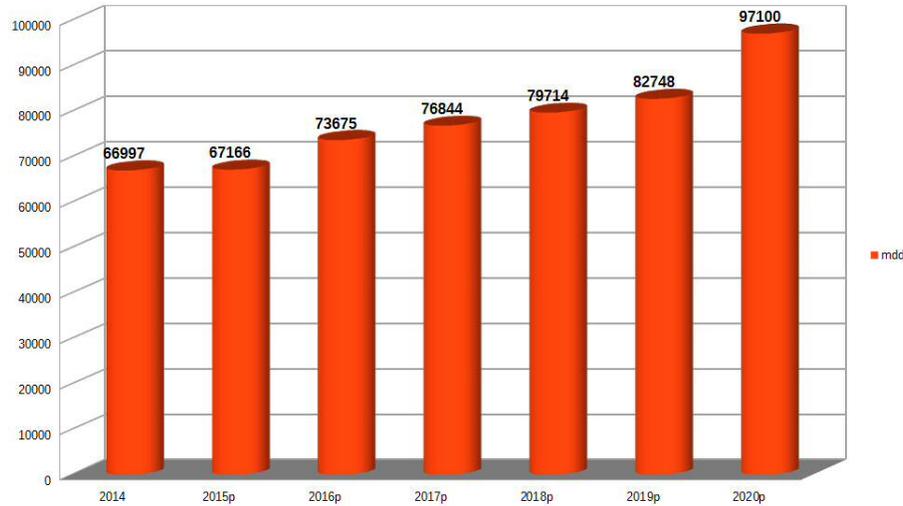


Figura 9. Gráfica de la perspectiva del consumo en México, 2014-2020 (mmd).

Fuente: ProMéxico (2014), con datos de INEGI, Global Trade Atlas e IHS.

2.5.4.3 Comercio Internacional

El sector realizó exportaciones por 80,125 mmd (2014), Los países a los que se exportó se muestran en la tabla 40. Sin sorpresas, el principal destino fue EUA.

Tabla 40. Destinos de exportaciones de México, 2014

País	Porcentaje
Estados Unidos	85.00%
Canadá	2.00%
Colombia	1.00%
Francia	1.00%
Países Bajos	1.00%
Otros	10.00%

Fuente: ProMéxico (2014) con información del Global Trade Atlas.

Por otro lado, las computadoras fueron el producto más exportado con una participación del 26% de las exportaciones, mientras que el producto con menor exportación fueron los micrófonos, altavoces y auriculares con un 2%, ver tabla 41.

Tabla 41. *Exportaciones de México del sector electrónico, 2014*

Fracción Arancelaria	Producto	Exportaciones 2014 (mdd)	Participación de las exportaciones %
8471	Computadoras	20,738	26%
85287206	Televisores de pantalla plana	14,532	18%
851712	Teléfonos celulares	2,733	3%
8518	Micrófonos, altavoces y auriculares	1,912	2%
	Otros	40,210	50%

Fuente: ProMéxico (2014) con información del Global Trade Atlas.

La inversión extranjera directa acumulada (IED) de 2010-2016 fue en mayor medida para el equipo de comunicación con \$4936.4 mdd, mientras que el sector que menor IED recibió en el mismo periodo fue el de medios magnéticos y ópticos con \$44.6 mdd, ver tabla 42.

Tabla 42. *Inversión Extranjera Directa (IED) 2010-2016 (mdd)*

SCIAN 2013	Rama	IED Total Acumulada
3341	Computadoras y equipo periférico	\$4936.4
3342	Equipo de comunicación	\$4053.4
3343	Equipo de Audio y Video	\$3651.3
3344	Componentes electrónicos	\$3540.3
3345	Instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico electrónico	\$1654.0

3346 Medios magnéticos y ópticos

\$44.6

Total \$17,880.00

Fuente: CANIETI (2017) con datos de Secretaria de Economía, Registro Nacional de Inversiones extranjeras.

El país de procedencia de la mayor IED es Estados Unidos con \$3547.4 mdd para el periodo de 2010 – 2016, y Canadá es el país con la menor IED para el mismo periodo, ver tabla 43.

Tabla 43. *País de origen de Inversión Extranjera Directa (IED) 2016 (mdd)*

País	IED 2016
Estados Unidos	618.4
Japón	141.3
Suecia	60.1
Italia	55.6
China	29.6
Taiwán	18.5
Canadá	11.8
Resto de los países	39.8
Total	975.10

Fuente: CANIETI (2017) con datos de Secretaria de Economía, Registro Nacional de Inversiones extranjeras.

2.5.5 Estado de la Industria Electrónica en Baja California

Axis identificó 184 empresas asentadas en el estado, Las ciudades donde las empresas electrónicas se encuentran ubicadas principalmente son Tijuana, Mexicali y Tecate, ver tabla 44.

Tabla 44. *Distribución de la Industria Electrónica en Baja California*

Ciudad	No. de Empresas	Porcentaje
Tijuana	116	63.04%
Mexicali	41	21.74%
Tecate	17	9.24%
Ensenada	10	4.89%
Rosarito	2	1.09%
Total	184	100.00%

Fuente: CANIETI (2017), con datos de Axis Centro de Inteligencia.

En materia laboral la Industria Electrónica genera más de 100,000 empleos directos, de los cuales el municipio de Tijuana tiene la mayor cantidad con un 60%. Rosarito es el municipio con la menor cantidad con un 1.14%, ver tabla 45.

Tabla 45. *Distribución del empleo de la Industria Electrónica en Baja California*

Ciudad	No. de Empleos	Porcentaje
Tijuana	60,392	60.04%
Mexicali	33,325	33.13%
Ensenada	3,446	3.43%
Tecate	2,278	2.26%
Rosarito	1,148	1.14%
Total	100,589	100.00%

Fuente: CANIETI (2017), con datos de Axis Centro de Inteligencia.

La fuente de inversión (representada por cantidad de empresas) en la industria electrónica más grande es de origen estadounidense, mientras que la menor inversión es de India. Destaca también que México es el segundo país que invierte en la industria electrónica, ver tabla 46.

Tabla 46. *Origen de la inversión en la industria electrónica en Baja California*

Ciudad	Porcentaje	No. de Empresas
E.U.A	61.96%	114
México	10.87%	20
Japón	9.78%	18
Corea del Sur	8.15%	15
China	2.17%	4
Taiwán	1.09%	2
Reino Unido	2.17%	4
Canadá	1.63%	3
Francia	1.63%	3
India	0.54%	1
Total	100.00%	184

Fuente: CANIETI (2017), con datos de Axis Centro de Inteligencia.

Las principales empresas establecidas en Baja California son: Amphenol, Delta Electronics, Diamond Electronics, Foxconn, International Rectifier, JVC, Kyocera, LG, Philips, Medtronic, RCA, Samsung, Sanyo, Sharp (Hisense), Skyworks, Tantung y TPV, Tyco. (ProMéxico, 2014).

La mayoría de las empresas se dedican a la fabricación de componentes con un 69.02%, la segunda categoría es audio y video, así como instrumentos de medición con 7.07% cada uno. Toda la distribución se puede ver tabla 47.

Tabla 47. *Distribución por segmento de la industria electrónica*

Segmento	Porcentaje	No. de Empresas
Componentes electrónicos	69.02%	127
Instrumentos de medición, control, navegación, y equipo médico	7.07%	13

electrónico		
Audio y video	7.07%	13
Computadoras y equipo periférico	3.26%	6
Medios magnéticos y ópticos	1.63%	3
Comunicaciones	1.09%	2
Otros	10.87%	20

Fuente: CANIETI (2017), con datos de Axis Centro de Inteligencia.

Nota: En otros de incluye empresas de remanufactura y fabricación de otros productos.

2.5.6 Industria 4.0

2.5.6.1 Las herramientas de la Industria 4.0

El concepto Industria 4.0 va más allá de las herramientas tecnologías, ya que involucrará cambios en toda la sociedad. Sin embargo, es pertinente dar un breve repaso de estas.

El reporte de BCG lista, lo que, para esta compañía, representa las tecnologías de la cuarta revolución a los cuales denomina los nueve pilares:

- Big Data y analítica (Analytics),
- Robots autónomos,
- Simulación,
- Integración de sistemas verticales y horizontales,
- El Internet Industrial de las Cosas (IIoT),
- Ciberseguridad,
- La nube,
- Manufactura aditiva,
- Realidad aumentada.

Por su parte la empresa PwC, en su reporte desarrolló un marco de referencia de la Industria 4.0 y las tecnologías contribuyentes, las cuales identifica como:

- Dispositivos móviles,

- Plataforma IoT,
- Tecnologías de detección de localización,
- Interfaces avanzadas humano-máquina,
- Autenticación y detección de fraude,
- Impresión 3D,
- Sensores inteligentes,
- Analítica de Big Data y algoritmos avanzados,
- Interacción multinivel y perfilado de clientes,
- Realidad aumentada/vestibles (weareables),
- Computación en la nube.

De estos reportes podemos derivar que las tecnologías o herramientas de la Industria 4.0 se pueden considerar las siguientes: Big Data y analítica, robots autónomos, simulación, integración de sistemas verticales y horizontales, el Internet de las cosas (IoT), ciberseguridad, computación en la nube, manufactura aditiva/impresión 3D, realidad aumentada/vestibles (weareables), dispositivos móviles (no celulares), tecnologías de geolocalización, interfaces avanzadas humano máquina, sensores inteligentes, interacción multinivel y perfilado de clientes.

Finalmente podemos considerar que la Industria 4.0 es una confluencia de tecnologías, algunas de ellas consolidadas, como la computación en la Nube y la Impresión 3D. Otras en proceso de consolidación como el IIoT/CPS y Sensores Inteligentes, y otras más que se espera se cristalicen en el futuro cercano como la Integración Horizontal y Vertical de Sistemas. Toda esta conjunción de tecnologías se espera que den como resultado: Las Fábricas Inteligentes (Smart Factories), Las Ciudades Inteligentes (Smart Cities) e inclusive el Smart Living (Viviendo Inteligentemente), ver figura 10.

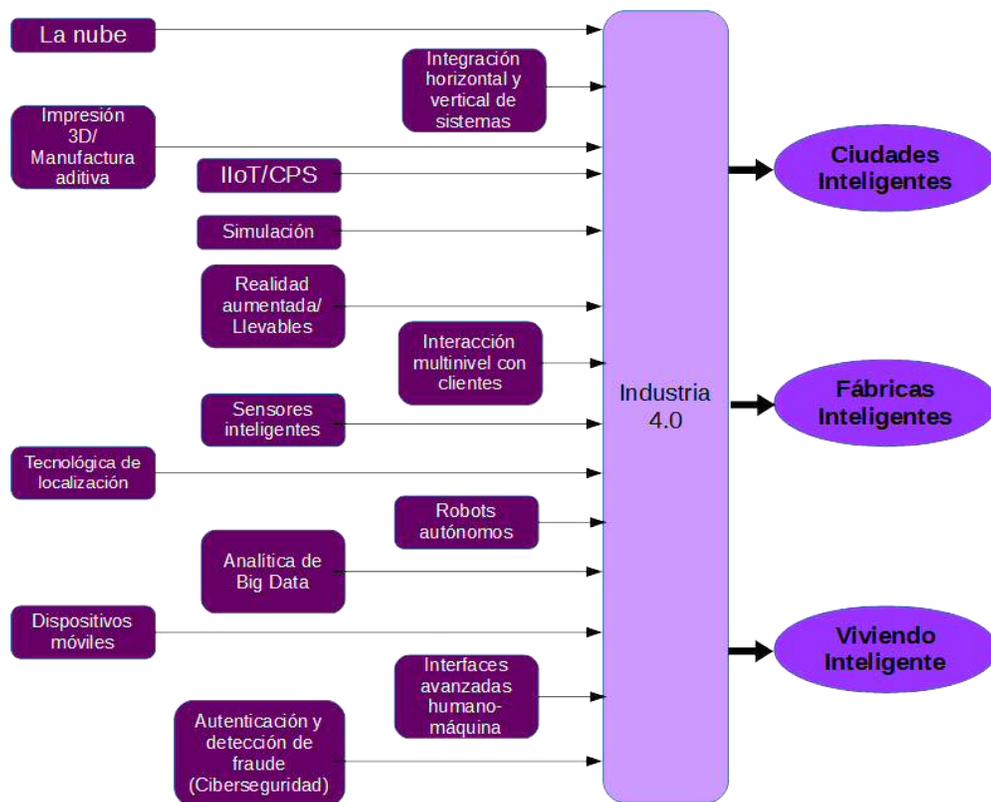


Figura 10. Industria 4.0

Fuente: Jacquez-Hernández, López & Rivas (2020).

2.5.6.2 iniciativas Industria 4.0 en el mundo

Además de Alemania, precursora de este término, otros países han desarrollado iniciativas para poderse incorporar a este cambio de paradigma, en la tabla 48 se presenta un resumen de estas iniciativas.

Tabla 48. *Iniciativas 4.0 de diferentes países*

País	Iniciativa	Propósito	Formado por
Alemania	Industrie 4.0	Asumir un papel pionero en las TI industriales; consolidar el liderazgo tecnológico de Alemania en el sector de la ingeniería mecánica; ser el líder de SCP para el 2020. Todo esto permitirá a Alemania permanecer como una economía	Los actores principales son cuatro institutos y dos iniciativas.

global de salarios altos.

Brasil	Aún no la genera. Sin embargo, la Cámara Brasileira de la Industria 4.0 es la responsable de la creación de una política nacional	Orientada a las industrias inteligentes, enfocándose en cuatro áreas: <ol style="list-style-type: none">1. Desarrollo tecnológico e innovación,1. Capital humano,2. Cadenas productivas y desarrollo de proveedores,3. Regulación y normalización tanto de la técnica como de la infraestructura.	Cámara Brasileira de la Industria 4.0, formada por 30 entidades públicas y privadas
China	Made in China 2025	Convertir a China en una nación manufacturera fuerte con prioridad en la digitalización y modernización de 10 sectores: <ol style="list-style-type: none">1. Equipo marino avanzado y buques de alta tecnología,1. Trenes y equipos avanzados,2. Maquinaria agrícola y tecnología,3. Equipo de aviación y aeroespacial,4. Productos biofarmacéuticos y equipo médico de alta gama,5. Circuitos integrados y nuevas tecnologías de información,6. Equipo electrónico de alta gama,7. Maquinaria de control de fabricación de alta gama y robótica8. Vehículos de energías nuevas9. Materiales nuevos y avanzados.	Liderado por el gobierno central

También aumentar el contenido nacional chino de materiales básicos al 40 por ciento para 2020 y al 70 por ciento para 2025.

España	Industria Conectada 4.0	Impulsar la transformación digital de la industria española mediante la actuación conjunta y coordinada del sector público y privado. Esta iniciativa está alineada y es complementaria a dos iniciativas nacionales: la Agenda Digital y la Agenda para el Fortalecimiento del Sector Industrial en España	Sector público y privado
Estados Unidos de América	Advanced de Manufacturing 2.0	Crear empleos de manufactura de alta calidad y mejorar la competitividad global de los Estados Unidos 14 institutos proveen infraestructura a PyMEs manufactureras y Startups para que puedan usar tecnologías nuevas, acelerar el proceso de transferencia de tecnología, y facilitar el proceso de entrenamiento de trabajadores.	Manufacturing USA organismo público-privado formado por 14 institutos
Italia	Piano Nazionale Industria 4.0	Estructurar la comunidad manufacturera italiana para desarrollar y aprovechar la investigación. El Plan prevé una amplia gama de medidas consistentes y complementarias que promueven la inversión en innovación y competitividad	Tiene una arquitectura de gobierno público-privado formado por un Comité Directivo Nacional, formado por ministerios, universidades, centros de investigación, empresas y sindicatos
México	No tiene	En el 2016, la Secretaría de Economía publicó el reporte "Crafting the Future: A roadmap for Industry 4.0 in México", con el propósito de presentar un primer	N/A

acercamiento hacia la estrategia nacional de valor agregado para la industria manufacturera a través de la implementación de las estrategias y tecnologías de Industria 4.0. Sin embargo, al concluir el sexenio no se generó una política pública para Industria 4.0, y el nuevo gobierno no ha mostrado interés en colocar a la industria como prioridad, ni en la generación de una política pública que trate el tema de Industria 4.0

Fuente: Elaboración propia con información de GTAI (2017), Carreño (2019), Balderrama (2018), Buisán & Valdés (2017), Manufacturing USA (SF), Secretaria de Economía (2016).

Capítulo III Método

En este capítulo se delinea el enfoque, alcance, diseño y tipo de investigación. También se expone el instrumento de investigación su validez y confiabilidad, la medición y escala de las variables, se expone y justifica la muestra. Y el capítulo se finaliza con las técnicas multivariantes, específicamente modelos de ecuaciones estructurales, de mínimos cuadrados parciales, modelo de medición y modelo estructural y consideraciones del tamaño de la muestra.

Esta es una investigación descriptiva ya que está dirigida al conocimiento de la realidad en una situación espaciotemporal concreta (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista, 2014; Mirabal & De Jesus, 2014; Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015). Específicamente se busca determinar si los factores críticos de éxito se relacionan con el grado de preparación o madurez, y con el impacto de la Industria 4.0. El nivel de la investigación es exploratorio-descriptivo ya que al no existir investigaciones previas se busca familiarizar con el tema Industria 4.0 en la región, además de describir el estado de este fenómeno (Hernández Sampieri et al., 2014; Mirabal & De Jesus, 2014; Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015). Por lo tanto, el proceso que se siguió fue iniciado con una construcción teórica de un modelo, definir las variables a utilizar y elaborar las relaciones de las hipótesis, enseguida se hizo una revisión de la literatura para dar fundamento al modelo y a las variables a utilizar. La literatura científica consultada también se utilizó para derivar la operacionalización de las variables tanto independiente, factores críticos de éxito, como dependiente Industria 4.0 evaluada a través de la medición de la madurez e impacto de esta.

3.1 Enfoque y alcance

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se hace uso de procedimientos estadísticos para procesar los datos o mediciones numéricas recolectados, aplicando la estadística tanto descriptiva como inferencial, para responder a las preguntas de investigación, por medio de la contrastación de las hipótesis (Hernández Sampieri et al., 2014; Mirabal & De Jesus, 2014; Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015).

El alcance es correlacional ya que busca el grado de relación que existe entre dos o más variables de interés en una misma muestra (Hernández Sampieri et al., 2014; Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015), concretamente la relación de los factores críticos de éxito con el grado de

preparación o madurez para la Industria 4.0, la relación entre el factores críticos de éxito con el impacto de la Industria 4.0, y la relación entre el grado de preparación o madurez con el impacto de la Industria 4.0. El modelo propuesto se probó por medio de regresión múltiple en una primera etapa, y posteriormente se evaluó también con ecuaciones estructurales.

3.2 Diseño y tipo

El diseño es no experimental, ya que el fenómeno es observar tal como sucede de forma natural, sin que el investigador intervenga, para ser analizado posteriormente; respecto al tiempo es de tipo transversal ya que permite estudiar sujetos de diferente edad, es decir la recolección de datos, en un periodo finito de tiempo (Hernández Sampieri et al., 2014; Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015)

El modelo planteado se dedujo de un análisis previo a la revisión del estado del arte, para posteriormente buscar en la literatura especializada usando bases de datos como ACM, Cambridge University Press, Ebesco, Emerald, Google Académico, IEEE, Jstor, Oxford Academic, Researchgate, Scopus, Science Direct. Springer Link, Web of Science y Wiley Online Library artículos que sustentaran los constructos seleccionados, así como que permitieran conocer con mayor profundidad el problema de investigación escogido, comprender de manera detallada los trabajos realizados con anterioridad para poder elaborar hipótesis que avanzaran el conocimiento científico.

La investigación se hizo de forma sistemática, siguiendo una serie de pasos determinados. El primer paso fue el planteamiento del problema, los objetivos, las preguntas de investigación, los factores y variables del modelo. El segundo paso fue obtener un modelo de trabajo y derivar las hipótesis que se buscan establecer como investigación pionera en el tema. El tercer paso fue la operacionalización de las variables para poder determinar los ítems más adecuados para construir el instrumento de medición y responder a la problemática detectada, el cuestionario se derivó de la revisión exhaustiva y del análisis crítico de la literatura, ya que se trataron de obtener instrumentos de estudios previos, pero desafortunadamente no los compartieron por cuestiones de patente.

Una vez preparado el instrumento preliminar el cuarto paso fue realizar una evaluación piloto que se realizó en los meses de mayo y junio de 2018. También en este paso se realizó la validación de expertos, enviándose el cuestionario preliminar a nueve expertos en construcción de cuestionarios de los cuales se obtuvo retroalimentación de tres de ellos. Ya validado el instrumento, el quinto paso consistió en la aplicación del instrumento, primero se diseñó en papel, luego en pdf rellenable y finalmente por medio de una encuesta en línea. El sexto paso fue el análisis estadístico de los resultados del cuestionario por medio del software estadístico SPSS v24 de IBM como primera opción para luego realizar un análisis adicional por medio de SmartPLS. Finalmente se procedió a comprobar las hipótesis, realizar la discusión de resultados y desarrollo de las conclusiones.

3.3 Instrumento de investigación

Las encuestas utilizan procedimientos de observación indirecta como la aplicación de cuestionarios, inventarios, pruebas, etc.; y tienen como objetivo recolectar información de las variables que representan a una muestra de una población; son pesquisas del estado actual de un fenómeno; las preguntas se diseñan para obtener información de las variables pero no para relacionar las variables, esto se hace posteriormente por medio de técnicas estadísticas para el procesamiento de datos (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015).

El cuestionario es un documento que contiene preguntas que están enlazadas con los objetivos del estudio y pueden ser de diferente formato: dicotómicos, elección forzada, de comparación por pares, de respuestas abiertas, o de alternativa múltiple (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2015). En esta investigación se utilizó un cuestionario como herramienta de recolección de información.

3.3.1 Validación del instrumento

Los instrumentos de medición o de recolección de datos deben de cumplir tres requisitos importantes: confiabilidad, validez y objetividad (Hernández et al., 2014, p200). La confiabilidad del instrumento de medición es el grado en que la aplicación del instrumento al mismo individuo de manera repetida produce los mismos resultados (Kellstedt & Whitten, 2013). La validez de forma general es el grado en que un instrumento puede medir la variable para la que se diseñó (Hernández et al. 2014, p200).

3.3.1.1 Validez de contenido

Es el grado en que la medición representa la medición de la madurez hacia la industria 4.0 en las diez dimensiones del modelo propuesto. De la revisión de la bibliografía, surgieron 139 ítems, se utilizó una escala tipo Likert que fueron evaluados por un panel de expertos. Con este instrumento se hizo una prueba piloto a 38 individuos de ocho empresas de manufactura de las ciudades de Ensenada y Tijuana. Con los datos obtenidos se construyó una base de datos en Calc de Libreoffice v6.4, para posteriormente hacer el análisis estadístico con IBM SPSS v24 y SmartPLS v3.

3.3.1.2 Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad de los datos se hizo calculando el coeficiente Alfa de Cronbach, el resultado se presenta en la tabla 49.

Tabla 49. *Alfa de Cronbach del instrumento*

Alfa de Cronbach	No. de elementos
.986	139

Fuente: Elaboración propia, obtenido utilizando IBM SPSS v24.

El coeficiente obtenido presenta un valor muy alto, por lo que se considera que el instrumento es confiable. De la correlación total de elementos corregidos los ítems en la tabla 50 mostraron valores menores de 0.5.

Tabla 50. *Ítems con valores de correlación menor a 0.5*

Dimensión	Ítems totales	Ítem < 0.5
Productos y servicios	9	1, 2, 4, 5, 6, 8 y 9
Clientes	5	1, 2, 3 y 5
Operaciones	36	1, 4, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 25, 26, 27, 28, 29,30 y 36.
Tecnología	50	1, 6, 13, 18, 19, 23, y 27
Estrategia	7	7

Cultura	8	8
Capital humano	7	1, 2, 3 y 4
Organización	5	2

Fuente: Elaboración propia.

Al determinar la confiabilidad del instrumento se observó que a pesar de que la correlación total de elementos corregida dio varios ítems menores a 0.5, la eliminación de estos ítems no cambia el valor del Alfa de Cronbach a excepción de dos ítems, pero el incremento era muy mínimo de .986 a .987.

3.3.1.3 Validez de constructo del instrumento

Para Johnson & Morgan (2016) el análisis factorial exploratorio tiene como propósito definir el número de constructos que son medidos por los ítems, al examinar la relación entre un grupo dado de ellos. Lloret-Segura, et al. (2014) abundan que el análisis factorial exploratorio de ítems se puede utilizar para la validación de cuestionarios ya que permite no solo validarlos, sino explorar el conjunto de variables latentes o factores comunes que explican las respuestas a los ítems de un cuestionario.

La validación de constructo se desarrolló solo para la sección C del cuestionario “Impacto de la Industria 4.0 IMP-I40”, ya que para las otras dos secciones A “Factores Críticos de Éxito 8FCE-I40” y B40 “Medición del nivel de madurez MM-I40” no se obtuvieron suficientes datos. Esta validación se hizo por medio del análisis factorial exploratorio (AFE) con extracción de componentes principales por el método Kaiser-Guttman con rotación Varimax. Se realizaron una serie de análisis previos para examinar la idoneidad de la aplicación del AFE a los datos de este estudio: se realizó el análisis de la matriz de correlación entre todas las variables involucradas en el análisis, ya que sugiere las dimensiones latentes y sus resultados (Batista-Foguet et al., 2004); así como el cálculo del determinante. El determinante de la matriz de correlaciones es un método para comprobar el grado de asociación de las variables. Un determinante muy bajo indica que hay altas correlaciones entre las variables, sin embargo, no debe ser cero ya que indicaría que algunas de las variables son linealmente dependientes y esto evitaría realizar algunos cálculos necesarios

del análisis factorial (Franquet, 2008). Adicionalmente se valoraron los resultados de las pruebas estadísticas Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la esfericidad de Bartlett.

La matriz de correlaciones resultante indica que ésta matriz no es cierta positiva para los factores críticos de éxito y para la medición del nivel de preparación o madurez, por lo no se pudo realizar el análisis factorial de estas variables. Sin embargo, para la variable impacto de la Industria 4.0 si se pudo realizar el análisis factorial, como se describe a continuación.

El análisis previo de la idoneidad de los datos para el análisis factorial exploratorio (AFE) mostró la correlación de Pearson con coeficientes por arriba de 0.35. La matriz de correlación entre los ítems presentó resultados significativos (bilateral) entre la mayoría de las intersecciones para $p < 0.01$, en algunos casos para $p < 0.05$, sin embargo, para el ítem C11 (C11 = categoría 1, ítem 1) fue significativo solo para los ítems de su categoría, C12-C14, pero no para ningún otro ítem. El valor del determinante fue de 2.895E-12, lo que indica que es factible continuar con el AFE.

El criterio de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para la adecuación de la muestra fue de 0.859, alcanzando una escala de “meritorio” (Gaskin, 2016), e indica una correlación entre las variables y una adecuación de la muestra para el AFE. También indica que el cuestionario puede ser aplicado de manera confiable. La prueba de esfericidad de Bartlett confirmó la idoneidad de los datos para la técnica del AFE ($p < 0,001$). Estas medidas demostraron que se podía realizar el AFE.

La extracción de los componentes principales con el método de rotación Varimax presentó valores que oscilaron entre 0.716 y 0.882. Para los ítems C31, C32, C33, C23 y C24 se obtuvieron cargas en los componentes 2 y 3, sin embargo, para los ítems C31, C32 y C33 la carga fue más alta en el componente 3, mientras que para C23 y C24 lo fue para el componente 2. De forma similar se puede observar que el ítem C14 tiene cargas tanto en el componente 1 como en el componente 2, en este caso el valor más alto está en el componente 1, ver tabla 51.

Tabla 51. *Análisis de los componentes factoriales de cada ítem, obtenido por el método de rotación Varimax*

Ítems de IMP-I40		Extracción de componentes principales		
		1	2	3
Social	C11	0.774		
	C12	0.865		
	C13	0.858		
	C14	0.716	0.596	
Ambiental	C21		0.812	0.477
	C22		0.831	0.464
	C23		0.864	0.406
	C24		0.842	0.444
Organizacional	C31		0.581	0.708
	C32		0.583	0.712
	C33		0.521	0.756
	C34			0.868
	C35			0.871
	C36			0.882

Fuente: Elaborada en base a Kindermann et al., (2019), con datos obtenidos con SPSS v24.

El análisis de la validez con el método de rotación Varimax, arrojó una asociación o agrupamiento para cada componente. En primera instancia se podría pensar que los ítems C21 a C24 y C31 a C36 pertenecen a una categoría y no a dos como fue el planteamiento inicial. O que los ítems C31 al C33, C21 al C24 y C11 pertenecen al componente 2, y no a los componentes 1, 2 y 3. Sin embargo, analizando los valores obtenidos con más detalle, se puede decir que los ítems C11 al C14 pertenecen al componente 1 (Social), los ítems C21 al C24 pertenecen al componente 2 (ambiental) y los ítems C33 al C36 pertenecen al componente 3 (organizacional), ya que para todos estos casos la carga fue mayor en las categorías designadas inicialmente.

3.3.2 Escalas de las variables

La variable independiente de este estudio son los factores críticos de éxito con ocho dimensiones, mientras que la variable dependiente está representada por la medición de la madurez como industria 4.0 con diez dimensiones e impacto de la industria 4.0 con tres dimensiones. Para medir estas variables se buscó como se recomienda, partir de un instrumento ya validado, puesto que hacer uno desde cero requiere mucho dinero y tiempo para hacerlo (Johnson & Morgan, 2016). De las tres variables, sólo se encontraron dos estudios que midieron la madurez, por lo que se contactó a sus autores Schumacher et al. y De Carolis et al. para que compartieran sus instrumentos, sin embargo, ninguno de los dos pudo hacerlo por cuestiones de patentes, por lo que fue necesario construir escalas nuevas que permitieran dar validez a los datos recopilados, a continuación, se relata cómo cada variable fue medida.

3.3.2.1 Escala para medición de la madurez como Industria 4.0, MM-I40

3.3.2.1.1 Escala de medición de la madurez MM-I40, versión preliminar

La escala de medición que se empezó a elaborar fue para evaluar el grado de preparación o madurez para evolucionar como Industria 4.0. Esta escala pretende medir el grado de preparación y/o madurez que tiene una empresa determinada. Como se explicó en el capítulo II Marco Teórico, el modelo de medición de la madurez se construyó derivado de 17 modelos y está compuesto de 10 elementos o categorías de una empresa: (1) productos y servicios, en esta categoría se pretende medir el grado de incorporación de sistemas ciberfísicos y/o IoT en el diseño de los productos o la capacidad de la empresa para hacerlo; (2) clientes, aquí se busca medir el grado de utilización de datos de los clientes y el nivel de digitalización de ventas y servicios ofrecidas a estos por la empresa; (3) operaciones, en esta categoría se pretende medir el nivel de modelado y simulación realizado por la empresa así como la colaboración interdepartamental existente en la empresa; (4) tecnología, esta categoría busca medir el grado de modernización del sistema de tecnología de la información y comunicación de la empresa, así como el nivel de uso de dispositivos móviles a través de esta; (5) estrategia, en esta categoría se pretende averiguar la disponibilidad y/o intenciones de elaborar una hoja de ruta para Industria 4.0, y el nivel de adaptación de modelos de negocio de la empresa compatibles como Industria 4.0; (6) liderazgo, aquí se busca medir el nivel en el que el liderazgo de la empresa está comprometido con el cambio de paradigma, así como el nivel de habilidades y competencias de la gestión en áreas relacionadas a la Industria 4.0; (7) sistema de gobierno, en esta categoría se pretende medir el nivel que la empresa tiene en cuanto a regulaciones laborales relacionadas con

la Industria 4.0 así como el grado de protección de propiedad intelectual que ejerce la empresa; (8) cultura, aquí se busca medir el nivel que la empresa tiene en cuanto al intercambio de conocimiento e innovación abierta; (9) gente, es esta categoría se pretende medir el grado en que las competencias y habilidades del personal están relacionadas con áreas de Industria 4.0 así como el nivel de apertura del personal de la empresa a nuevas tecnologías; por último en la categoría (10) organización, se busca medir principalmente el grado de alineación organizacional para la adopción de Industria 4.0 de la empresa.

Los ítems derivados para cada categoría variaron de acuerdo con la información analizada y que quizás representa la importancia de la categoría encontrada en la literatura revisada, dando un total de 139. Los ítems de cada categoría están listados en la tabla 52. A esta escala de medición se le designó como MM-I4.0,

Tabla 52. *Número de ítems del modelo de medición del grado de preparación/madurez MM-I40, versión preliminar*

No.	Categoría	No. de Ítems
1	Productos y servicios	9
2	Clientes	5
3	Operaciones	36
4	Tecnología	50
5	Estrategia	7
6	Liderazgo	7
7	Sistema de gobierno	5
8	Cultura	8
9	Capital humano	7
10	Organización	5
	Total	139

Fuente: Elaboración propia

El instrumento contiene solo ítems con respuestas cerradas, las escalas de respuesta son tipo Likert y van de 1 a 5, los descriptores verbales son: Nunca (1), Casi nunca (2), A veces (3), Casi siempre (4) y Siempre (5), para la mayoría de los ítems, a excepción de los ítems (clientes) 5 “¿La empresa ofrece a los clientes?”, dónde son: portafolio de productos físicos (1), productos inteligentes con capacidades de datos (2), combinación de productos-servicios (inteligentes), (3) enfoque de “producto como servicio” (4), y servicios basados en Big Data “datos como servicio” (5); ítems (operaciones) 31 a 36, (capital humano) 7 y (organización) 5 donde se utilizaron los descriptores 0-20% (1), 21-40% (2), 41-60% (3), 61-80% (4) y 81-100% (5) por el tipo de ítems, e.g 3-31 “La empresa está realizando la transformación del proceso de planificación a Industria 4.0”. Así como los ítems (Estrategia) 7 “La empresa usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para ...”, dónde son: productos (1), productos inteligentes (2), servicios inteligentes (3), sistemas de servicio (4) y empresa conducida por datos (5); y (cultura) 8 “En la empresa la cultura organizacional se caracteriza por un/una...”, dónde son: apertura digital para las tecnologías digitales (1), enfoque en combinación de producto-servicio (inteligentes) (2), pensamiento de innovación de servicios establecidos (3), pensamiento empresarial digital establecido (4) y el entendimiento de los datos como portador de valor (5).

Después de la prueba piloto y medición de confiabilidad se modificó como se describe a continuación.

3.3.2.1.2 Escala de medición de la madurez MM-I40, versión final

Las categorías de la escala de medición se mantuvieron las mismas, y la definición de cada una de ellas se formuló como sigue: (1) productos y servicios, donde las preguntas están diseñadas para conocer el grado de incorporación de sistemas ciber-físicos, IoT y/o servicios en el diseño de los productos o capacidad de la empresa para hacerlo. Así como otras preguntas sobre la personalización y digitalización de productos y/o servicios; (2) clientes, en esta categoría las preguntas están diseñadas para conocer la utilización de datos de los clientes, digitalización de ventas y servicios, y otros ofrecimientos digitales; (3) operaciones dónde las preguntas están diseñadas para conocer el uso de modelado y simulación, colaboración interdepartamental, uso de Internet en el piso de producción y otras técnicas avanzadas de manufactura en la producción y diseño de productos y/o servicios; (4) tecnología, en esta categoría las preguntas están diseñadas

para evaluar el grado de modernización y seguridad del sistema de tecnología de la información y comunicación, uso de dispositivos móviles, y de otras tecnologías avanzadas; (5) estrategia donde las preguntas están diseñadas para evaluar disponibilidad de hoja de ruta para Industria 4.0 y adaptación de modelos de negocio; (6) liderazgo, en esta categoría, las preguntas están diseñadas para evaluar liderazgo comprometido con el cambio de paradigma, habilidades y competencias de gestión; (7) sistema de gobierno (gobernanza) donde las preguntas están diseñadas para regulaciones laborales para Industria 4.0, protección de propiedad intelectual y otras relacionadas; (8) cultura, en esta categoría las preguntas están diseñadas para intercambio de conocimiento, innovación abierta y otras características culturales. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas; (9) capital humano, donde las preguntas están diseñadas para competencias y habilidades del personal, apertura del personal a nuevas tecnologías, etc.; (10) organización, en esta categoría las preguntas están diseñadas para evaluar la alineación organizacional para la adopción de I4.0.

Después de la evaluación piloto, los ítems se redujeron a 78. Los ítems de cada categoría están listados en la tabla 53.

Tabla 53. *Número de ítems del modelo de medición del grado de preparación/madurez MM-I40, versión final.*

No.	Categoría	No. de Ítems
1	Productos y servicios	10
2	Clientes	5
3	Operaciones	12
4	Tecnología	10
5	Estrategia	9
6	Liderazgo	7
7	Sistema de gobierno	5
8	Cultura	8
9	Capital humano	7

10	Organización	5
	Total	78

Fuente: Elaboración propia

Como en la primera versión, el instrumento contiene ítems con respuestas cerradas, las escalas de respuesta son tipo Likert, pero ahora van de 1 a 7, los descriptores verbales son: Nunca (1) y Siempre (7) para la mayoría de los ítems. Los ítems con descriptores diferentes son ahora: (clientes) 5 “¿La empresa ofrece a los clientes?”, dónde son: portafolio de productos físicos (1) y servicios basados en Big Data “datos como servicio” (7); ítems (operaciones) 9 - 12, (capital humano) 7 y (organización) 3 - 5, donde se utilizaron los descriptores 0% (1) y 100% (7).

3.3.2.2 Escala para la medición de los factores críticos de éxito (FCE), 8FCE-I40.

La escala de medición para medir los factores críticos de éxito (FCE) para la evolución hacia Industria 4.0 está dividida en 8 categorías. Cada categoría agrupa ítems considerados factores críticos de éxito, de acuerdo con la literatura revisada, para un área específica de la empresa, en su evolución como Industria 4.0. Como en la escala de medición de la madurez, esta escala de medición se construyó desde cero debido a la falta de escalas de medición disponibles.

Para esta escala solo se construyó una versión para el levantamiento de datos, pero si pasó por la revisión de expertos. Cubre las siguientes categorías de factores críticos de éxito: (1) Factores relacionados al cliente, esta categoría agrupa factores relacionados con productos y servicios ofertados al cliente como la realización de analítica para la personalización y creación de productos o servicios, y otras actividades relacionadas con los clientes; (2) Factores organizacionales, aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos de la organización dentro de la empresa como la utilización de medios digitales, cambios rápidos o radicales y otros; (3) Factores culturales: en esta categoría se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos culturales dentro de la empresa incluyendo el compromiso con la transformación de estrategia, transformación de la cultura, conjunto de valores y otros; (4) Factores humanos: Aquí se agrupan factores relacionados con el capital humano como competencias interdisciplinarias, habilidades de conocimiento experto, creatividad e innovación, flexibilidad y otras; (5) Factores de planeación: Aquí se agrupan factores relacionados con los

diferentes aspectos de la planeación como contar con una estrategia de implementación para Industria 4.0, el fomentar la innovación rápida de prototipos, modelo de investigación y desarrollo o modelo de negocios para Industria 4.0; (6) Factores tecnológicos, en esta categoría se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos de la tecnología como son arquitectura del sistema de información que admite datos de Internet de la cosas (IoT), capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y con ello toma decisiones, cuenta con nuevas tecnologías y otras más; (7) Factores operacionales aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos operacionales de la empresa como la capacidad de realizar automatización, mezclar los recursos humanos y digitales o tener procesos basados en datos entre otros; (8) Factores externos, esta categoría agrupa factores externos como aspectos gubernamentales, certeza legal e infraestructura regional entre otros.

Los ítems iniciales propuestos que se trató de limitar a 7 por categoría y los ítems finales después de la revisión de expertos son 56, solo hubo una pequeña redistribución como se muestra en la tabla 54. A esta escala de medición se le nombró 8FCE-I40

Tabla 54. *Número de ítems de los factores críticos de éxito de la escala de medición 8FCE-I40*

No.	Categoría	Ítems iniciales	Ítems finales
1	Factores relacionados al cliente	7	8
2	Factores organizacionales	7	7
3	Factores culturales	7	6
4	Factores humanos	7	7
5	Factores de planeación	7	7
6	Factores tecnológicos	7	7
7	Factores operacionales	7	7
8	Factores externos	7	7
	Total	56	56

Fuente: Elaboración propia.

Este instrumento como el MM-I40 contiene solo ítems con respuestas cerradas, las escalas de respuesta son tipo Likert y van de 1 a 7, los descriptores verbales son: Totalmente en desacuerdo (1) a Completamente de acuerdo (7), para las primeras siete categorías de factores, para los factores externos son: No le afecta en absoluto (1) a Le afecta grandemente (7).

3.3.2.3 Escala para la medición del impacto de la Industria 4.0, IMP-I40.

La escala de medición para medir el impacto de la Industria 4.0 se dividió en 3 categorías. Las categorías consideradas después de la revisión de la literatura son: social, ambiental y organizacional. Como en las escalas de medición anteriores, esta escala de medición se construyó desde cero debido a la falta de escalas de medición disponibles.

Esta escala siguió el camino de la escala para los FCE, y cubre las siguientes categorías: (1) Social: esta categoría contiene preguntas relacionadas con el impacto actual o esperado en el aspecto social o de capital humano, como la reducción de empleos no calificados, incremento de empleos especializados entre otros; (2) Ambiental: las siguientes preguntas están relacionadas con el impacto actual o esperado en el medio ambiente, en áreas de gestión de calidad, optimización e ingeniería de proceso entre otros; (3) Organizacional: dónde las preguntas están relacionadas con el impacto actual o esperado en la empresa como organización, en aspectos como naturaleza de la competencia, impacto en estrategias corporativas, transformación de la organización y otros.

Los ítems iniciales propuestos y los ítems finales después de la revisión de expertos no cambio. La menor cantidad de ítems es un reflejo de la menor cantidad de investigación publicadas en esta área. Ver tabla 55.

Tabla 55. *Número de ítems del impacto de la industria 4.0, IMP-I40*

No.	Categoría	Ítems iniciales	Ítems finales
1	Social:	4	4
2	Ambiental:	4	4

3	Organización:	6	6
	Total	14	14

Fuente: Elaboración propia.

Este instrumento como los dos anteriores contiene solo ítems con respuestas cerradas, las escalas de respuesta son tipo Likert y van de 1 a 7, con el propósito de tener concordancia con las otras dos escalas y no confundir a los sujetos de estudio. Los descriptores verbales son: Totalmente en desacuerdo (1) a Completamente de acuerdo (7) para todos los ítems de las tres categorías.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Para la validación del instrumento.

La muestra fue no probabilista, con un muestreo casual o incidental, donde la muestra está compuesta por sujetos fácilmente accesibles y presentes en un lugar determinado (Rabolini, 2009), por restricciones principalmente de tiempo. Se aplicó a personas que laboran en empresas mayormente de Ensenada como fueron: Zircon de México; Instrumentos Musicales Fender; ICU Medical; ARI; y Allegion, a las que se le entregó un juego de 10 cuestionarios a una persona conocida de cada empresa. Y de Tijuana, se les envió por correo electrónico a personas conocidas que pudiera ayudar en la validación del instrumento y que laboran en las siguientes empresas: Hyundai de México y Elevadores EV Internacional.

3.4.2 Para el estudio cuantitativo.

De acuerdo con la información presentada anteriormente del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) en Baja California, están registradas 173 unidades económicas de la industria electrónica. El tamaño de la muestra se estima en 119 empresas, con un error de muestreo de 5% y un nivel de confianza del 95%, aplicando la fórmula para una muestra para estimar una proporción descrita por (Fernández, 2004, p141; García-García, Reding-Bernal & López-Alvarenga, 2013, p222; Gallego, 2004, p7) considerando una proporción de 0.5 para un valor de muestra máxima y una poder estadístico de .90 (García-García et al., 2013, p221), considerando un error tipo 2 de .10. Con una precisión de la muestra de .006 (Gallego, 2004, p7).

Para la aplicación del cuestionario la información obtenida del DENUE se complementó con el directorio de la Asociación de la Industria Maquiladora y de Exportación (Index) edición del

2017 y con el Directorio de la Industria Maquiladora de Baja California, No. 17, 2017, cruzando y sintetizando la información se identificaron un total de 254 empresas de la industria electrónica. Las dos últimas fuentes de información proporcionaron información más actualizada y precisa de las empresas, en cuanto a la localización e información de contacto.

La aplicación del cuestionario se inició con una versión impresa y se aplicó a una empresa de Ensenada, se contactaron tres empresas de Tijuana y se intentó con dos empresas de Mexicali, pero solo una lo recibió. Esta versión del cuestionario incluía en la parte inicial una introducción a Industria 4.0 y definiciones de ésta, así como de madurez para I4.0, sistemas ciberfísicos, IoT, Big Data, análisis sistemático (analytics), y una explicación de los conceptos de fábrica 4.0.

Debido al gran esfuerzo que representaba la distribución y recolección de los cuestionarios, casi inmediatamente se diseñó una versión de pdf rellenable; el cual se abría, se llenaba, se guardaba y se tenía que enviar de regreso al emisor. Esto facilitó la distribución del cuestionario que se hizo a las empresas visitadas con excepción de LG Electronics de Mexicali la cual ya no se pudo contactar. Sin embargo, esta versión presentó dos problemas: el primero fue el esfuerzo que requería de parte del encuestado, adicional al esfuerzo en sí de llenarlo; el segundo fue que, al enviar el cuestionario por correo electrónico, se corría el riesgo de que los sistemas antivirus de las empresas no lo entregaran al destinatario, por lo que se decidió crear una versión de encuesta en línea. Cabe destacar que la versión pdf incluía la información sobre Industria 4.0 incorporada en el cuestionario impreso.

Para la versión en línea se diseñó primero en Formularios de Google, pero el control ofrecido era muy pobre para el tipo de ítems preparados, resultando en un cuestionario muy difícil de leer para poderlo llenar, se hizo una prueba y se confirmó que no era adecuado para el tipo de encuesta, ya que las preguntas son relativamente largas para el espacio asignado, por lo que se optó por buscar una solución comercial, que fue la que finalmente se aplicó. Para esta versión del cuestionario se perdió la opción de incluir la información sobre Industria 4.0.

La difusión del cuestionario se hizo por medio de una página de Facebook, a través de LinkedIn y contactando directamente a las empresas, a través del departamento de Recursos Humanos en su mayoría, para que este departamento lo reenviara al personal objetivo. Para ello se le enviaba un

correo electrónico explicando el proyecto, los beneficios para la Universidad y para la empresa, junto con el enlace para el llenado del cuestionario en línea, e inclusive se les ofreció un reporte personalizado para la empresa.

3.5 Técnicas multivariantes

El avance en la tecnología computacional ha permitido que el análisis de datos psicológicos, sociológicos y de otro tipo de datos relacionados al comportamiento humano, puedan ser analizados con relativa facilidad sin importar su complejidad o cantidad, permitiendo a los investigadores realizar pesquisas más sustantivas y ensayar sus modelos teóricos sin ninguna restricción (Hair Jr, Anderson, Tatham, & Black, 2007). Por otro lado, el análisis multivariante de forma general abarca a todos los métodos estadísticos utilizados para analizar simultáneamente múltiples medidas de los datos recolectados en una investigación, mientras que de una forma particular incluye tanto técnicas multivariantes como técnicas multivariantes (Hair Jr et al., 2007).

Dentro las diferentes técnicas multivariantes se encuentran: la regresión y correlación múltiple, que son utilizadas cuando el problema del investigador incluye una variable métrica dependiente que se cree está relacionada con una o más variables métricas independientes; análisis discriminante múltiple, más apropiada cuando la variable dependiente es dicotómica (hombre-mujer) o multidicotómica (ingreso bajo, medio o alto), mientras que las variables independientes se suponen que son métricas; componentes principales y análisis factorial común, pueden emplearse para analizar interrelaciones entre un gran número de variables y explicarlas en términos de sus dimensiones latentes comunes denominadas factores; análisis multivariante de varianza y covarianza, conocidas también como MANOVA y MANCOVA, se pueden utilizar en una situación experimental para comprobar hipótesis relacionadas a las varianzas de respuestas de grupos donde existen dos o más variables métricas dependientes; correlación canónica, tiene el objetivo de correlacionar simultáneamente varias variables métricas dependientes y varias variables métricas independientes; modelos de probabilidad lineal, son una combinación de regresión múltiple y análisis de discriminante múltiple; modelos de ecuaciones estructurales (*SEM Structural Equation Modeling*), que es una técnica que permite separar las relaciones para cada conjunto de variables dependientes (Hair Jr et al., 2007).

Adicionalmente los métodos multivariantes se pueden clasificar tanto como en técnicas de primera y segunda generación como en técnicas exploratorias o confirmatorias. (Hair Jr, Hult, Ringle & Sarstedt, 2017). Dentro de las técnicas exploratorias de primera generación podemos encontrar a: el análisis de clúster, análisis factorial exploratorio y escalamiento multidimensional; como técnicas confirmatorias de primera generación están: el análisis de varianza, la regresión logística, la regresión múltiple y el análisis factorial confirmatorio; dentro de las técnicas exploratorias de segunda generación está el modelado de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales (PLS, *Partial Least Square*) o PLS-SEM; por último dentro de las técnicas confirmatorias de segunda generación se encuentra el modelado de ecuaciones estructurales basado en covarianzas (CB, *Covariance Based*) o CB-SEM (Hair Jr et al., 2017).

Considerando que esta investigación es del tipo exploratorio, la técnica de modelos de ecuaciones estructurales fue la técnica multivariante utilizada por lo que se explica a más detalle en los apartados siguientes.

3.5.1 Modelos de ecuaciones estructurales

En general los métodos basados en modelado de ecuaciones estructurales han sido vistos como la unión de dos tradiciones: por un lado, está la perspectiva econométrica que se enfoca en la predicción y por otro lado está el énfasis psicométrico que modela conceptos como variables latentes (no observadas) que se deducen indirectamente de múltiples medidas observadas, conocidas también como indicadores o variables manifiestas (Chin, 1998; Hair Jr et al., 2017). Esto condujo a los científicos sociales a desarrollar un modelado analítico de ruta o sendero (*path*) con variables latentes, lo que trajo como consecuencia que a este enfoque se le considere una segunda generación del análisis multivariante (Chin, 1998; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

Esta técnica permite al investigador una mayor flexibilidad en la interacción entre la teoría y los datos, lo cual representa una ventaja de los procedimientos SEM sobre la primera generación de técnicas multivariantes tales como análisis de componentes principales, análisis factorial, análisis discriminante, o regresión múltiple (Chin, 1998; Hair Jr et al., 2017).

El advenimiento del SEM con variables latentes ha cambiado la naturaleza de la investigación en gestión y marketing internacional (Henseler, Ringle, & Sinkovics, 2009). SEM se ha convertido en la herramienta de rigor en la validación de instrumentos y para probar vínculos entre constructos (Gefen, Straub & Boudreau, 2000).

Los procedimientos SEM en general le permiten al investigador la flexibilidad de realizar: (a) modelado de relaciones entre múltiples variables de criterio y predictoras, (b) constructos de variables latentes no observables, (c) modelar errores en mediciones para variables observables, y (d) probar estadísticamente supuestos de mediciones y de teórica previa contra datos empíricos, es decir análisis confirmatorio (Chin, 1998).

Como se describió anteriormente hay básicamente dos enfoques de SEM, el primer enfoque CB-SEM está basado en el análisis de estructuras de covarianzas, fue desarrollado por Keesling (1972), Jöreskog (1973) y Wiley (1973), y se popularizó en gran medida por la disponibilidad del software LISREL a mediados de los 70s (Chin, 1998; Gefen et al., 2000; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Este enfoque es recomendado cuando se contrastan teorías, pruebas de hipótesis o en el diseño de nuevas teorías, partiendo de investigaciones y teorías anteriores (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Es usado primordialmente para confirmar o rechazar teorías, es decir un juego de relaciones sistemáticas entre múltiples variables que pueden ser probadas empíricamente, determinando que tan bien un modelo teórico propuesto puede estimar la matriz de covarianzas para un juego de datos de una muestra (Hair Jr et al., 2017).

En este enfoque además de partir de investigaciones y teorías anteriores, la revisión de la literatura permitirá elaborar un modelo teórico en el que se especifiquen el dominio de los conceptos analizados y sus relaciones, también permitirá la elaboración de ítems relacionados a los constructos y de dimensiones previamente establecidas (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Otra característica importante de este enfoque es que la normalidad de los datos y el tamaño de muestra se deben de cumplir, por lo que es considerada una técnica SEM paramétrica (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

El segundo enfoque, PLS-SEM, también conocido como modelado de ruta PLS (PLS-PM PLS *path modeling*), fue desarrollado por Wold (1974) y se basa en el análisis de la varianza de las

variables dependientes, es un método de análisis poderoso, más flexible que el CB-SEM, ya que no demanda supuestos paramétricos rigurosos, como normalidad de los datos y tamaño de la muestra en referencia a las variables observadas, también tiene una demanda mínima de escala de medición, todo esto es posible porque utiliza pruebas no paramétricas (Chin, 1998; Gefen et al., 2000; Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018)

El PLS-SEM se está usando por un creciente número de investigadores en disciplinas como gestión estratégica, gestión de sistemas de información, e-business, comportamiento organizacional, marketing, y comportamiento del consumidor (Henseler et al., 2009).

3.5.2 Modelos de ecuaciones estructurales basados en mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM)

El PLS-SEM es recomendado en las etapas iniciales de desarrollo teórico, por lo que se utilizan principalmente para desarrollar y validar teorías en investigación exploratoria (Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Puede ser usado para confirmación de teoría, para sugerir donde existen relaciones, sugerir proposiciones para ser probadas posteriormente y a la investigación orientada a la predicción (Chin, 1998; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). También evita dos problemas encontrados en los CB-SEM: soluciones inadmisibles e indeterminación de factores (Chin, 1998). Otras situaciones en que el PLS-SEM muestra mejor desempeño que el CB-SEM son la falta de convergencia especialmente cuando están involucradas medidas formativas y soluciones no admisibles (Hair Jr et al., 2017).

Henseler et al., (2009) mencionan que dentro de las características del PLS-SEM podemos encontrar:

- Entrega de puntuaciones de las variables latentes, esto es representaciones de los constructos, los cuales son medidos por uno de varios indicadores (variables manifiestas).
- Evita los problemas de muestras pequeñas y puede ser aplicada en algunas situaciones donde otros métodos no.
- Puede estimar modelos muy complejos con muchas variables latentes y manifiestas.
- Es menos exigente en los supuestos acerca de la distribución de las variables y errores.
- Puede manejar modelos de medición reflectivos y formativos.

Aunque algunas comparaciones de métodos proveen alguna evidencia de comportamiento favorable del PLS a la luz de la multicolinealidad, estos no se resisten a ella, debido a que el PLS determina modelos de medición, así como modelos estructurales por medio de regresión múltiple, los estimados del PLS pueden estar sujetos a problemas de multicolinealidad (Henseler et al., 2009).

3.5.3 Modelo de medición y modelo estructural del modelado de ruta PLS-PM

Los modelos de ruta son diagramas usados para visualizar las hipótesis y las relaciones entre las variables cuando se utiliza el SEM (Hair, Ringle & Sarstedt, 2011; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Se caracteriza por dos componentes básicos o dos juegos de ecuaciones lineales: (1) el modelo estructural o modelo interior y (2) el modelo de medición o modelo exterior (Hair Jr et al., 2007; Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). El modelo estructural (interior) es el modelo guía que relaciona los constructos, es decir las variables latentes o no observables, tanto dependientes como independientes (Hair Jr et al., 2007; Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). En tales situaciones, la teoría, antes que la experiencia permitirá al investigador distinguir que variables independientes predicen cada variable dependiente (Hair Jr et al., 2007; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Por otro lado, el modelo de medición (exterior) permite al investigador usar varias variables observables o manifiestas (indicadores) para una única variable latente dependiente o independiente (Hair Jr et al., 2007; Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Existen dos tipos de modelos de medición (exteriores): el modelo de medición reflectivo, para las variables latentes endógenas (los constructos que están siendo explicados en el modelo); y el modelo formativo, para las variables latentes exógenas (los constructos que explican otros constructos), y su uso depende de un razonamiento teórico (Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

Los términos de error representan la varianza no explicada cuando se estiman los modelos de ruta, están conectados a los constructos endógenos y miden de forma reflectiva a las variables (Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009). Los indicadores medidos de manera formativa, donde la relación va del indicador al constructo, así como las variables latentes exógenas que solo explican otras variables latentes en el modelo estructural, no tienen términos de error (Hair Jr et

al., 2017; Henseler et al., 2009). Otra característica de los modelos de medición formativos es que indican una relación causal (predictiva) de las variables indicadoras hacia los constructos (dirección de las flechas), por otro lado, en los modelos de medición reflectiva la dirección de las flechas va de los constructos a las variables indicadoras, señalando la suposición que el constructo causa las mediciones de las variables indicadores, de manera más precisa su covariación (Hair Jr et al., 2017).

La figura 11 es una representación de un modelo de ruta PLS-PM, donde las variables latentes están representadas por elipses, mientras que las variables manifiestas por rectángulos.

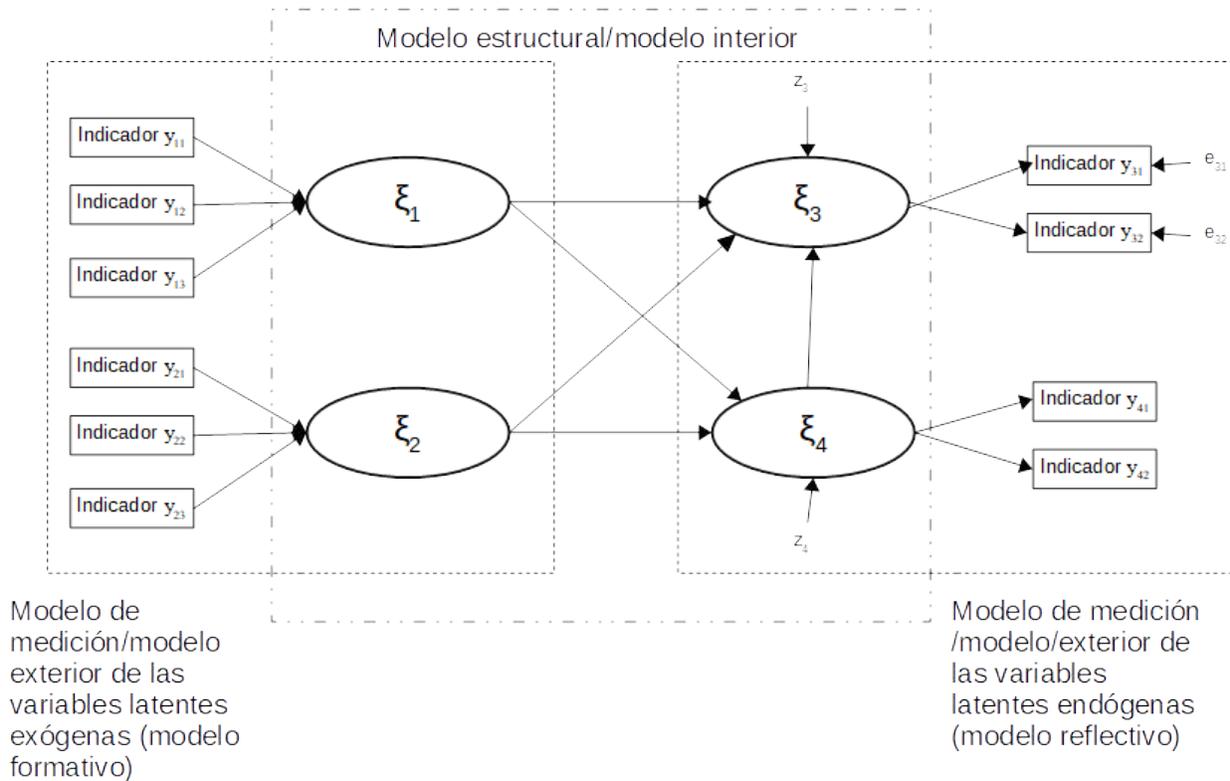


Figura 11. Ejemplo de un modelo de ruta (path) PLS-PM

Fuente: Elaborado en base a Henseler et al. (2009) y Hair Jr et al. (2017)

3.5.4 Consideraciones sobre el tamaño de la muestra en PLS-SEM

Las razones más mencionadas para el uso de PLS SEM son: tamaño de muestra mínimo, datos no normales y la escala de medición usando diferentes tipos de escalas (Hair Jr et al., 2017, Henseler et al., 2009). Mientras que algunas de las razones son consistentes con las capacidades del método, no es el caso del tamaño de la muestra, ya que se tiene la idea errónea que se puede

utilizar con una muestra muy baja y obtener resultados que representen a una población muy grande (Hair Jr et al., 2017). Una muestra es una selección de elementos o individuos escogida de una población, tomados de manera aleatoria para que representen las similitudes y diferencias encontrados en esta, y para poder realizar inferencias con esta muestra pequeña de la población mucho más grande (Hair Jr et al., 2017).

La complejidad del modelo estructural tiene poca influencia en los requerimientos del tamaño de muestra para el PLS-SEM, y la razón es que el algoritmo no realiza los cálculos de todas las relaciones en el modelo estructural al mismo tiempo, sino que realiza una regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS, *Ordinary Least Square*) para estimar las relaciones de las regresiones parciales del modelo (Hair Jr et al., 2017). Algunos estudios como Chin & Newsted, (1999), Hui & Wold (1982) y Reinartz, Haenlein & Henseler (2009) han determinado que el PLS-SEM con muestra pequeñas se desempeña bien por lo que es una buena opción cuando la muestra es pequeña (Hair Jr et al., 2017). Adicionalmente, cuando se compara con el modelo CB-SEM, el PLS-SEM tiene niveles de potencia más altos en situaciones de modelos de estructuras complejas o tamaños pequeños de muestra (Hair Jr et al., 2017).

Algunos autores como Barclay, Higgins & Thompson (1995), Chin (1998), Kwong & Wong (2013), recomiendan la regla de 10 para el tamaño de muestra, donde la muestra debe ser igual a el más grande de lo que resulte de 10 veces la mayor cantidad de indicadores formativos usados para medir un constructo o 10 veces la cantidad de rutas estructurales dirigidos a un solo constructo en el modelo estructural, esto equivale a que el tamaño de muestra mínima debe ser diez veces el número máximo de flechas que apuntan a una variable latente en el modelo ruta PLS (Hair Jr et al., 2017). Sin embargo, Hair Jr et al. (2017), aunque reconocen la regla de 10 como una guía aproximada para el tamaño mínimo de muestra, recomiendan que se considere la muestra contra los antecedentes del modelo y características de los datos, de forma más particular recomiendan usar la regla empírica establecida por Cohen (1992), basada en el análisis de potencia estadística para modelos de regresión múltiple, siempre y cuando los modelos de medición tengan cargas externas arriba de 0.70. Henseler et al. (2009), agregan que la selección de PLS-SEM sobre CB-SEM basado solo en el tamaño pequeño de la muestra privilegia la exactitud sobre potencia estadística, y que se debe favorecer la significancia estadística sobre la exactitud puesto que sin la primera la segunda no agrega valor científico, concluyendo que los

investigadores deben asegurarse de que el tamaño de la muestra sea lo suficientemente grande como para apoyar las conclusiones. En la tabla 56 se presenta la recomendación del tamaño de muestra para PLS-SEM

Tabla 56. Recomendación del tamaño de muestra en PLS-SEM para una potencia estadística de 80%

Número máximo de flechas apuntando a un constructo	Nivel de significancia											
	10%				5%				1%			
	R ² mínimo				R ² mínimo				R ² mínimo			
	0.10	0.25	0.50	0.75	0.10	0.25	0.50	0.75	0.10	0.25	0.50	0.75
2	72	26	11	7	90	33	14	8	130	47	19	10
3	83	30	13	8	103	47	16	9	145	53	22	12
4	92	34	15	9	113	41	18	11	158	58	24	14
5	99	37	17	10	122	45	20	12	169	62	26	15
6	106	40	18	12	130	48	21	13	179	66	28	16
7	112	42	20	13	137	51	23	14	188	69	30	18
8	118	45	21	14	144	54	24	15	196	73	32	19
9	124	47	22	15	150	56	26	16	204	76	34	20
10	129	49	24	16	156	59	27	18	212	79	35	21

Fuente: Elaborado basado en Cohen (1992) como es citado en Hair Jr et al (2017).

Otra forma de determinar el tamaño de la muestra fue propuesta por Martínez Ávila, & Fierro Moreno, (2018) por medio de una tabla partiendo de la sugerencia de Marcoulides & Saunders (2006), de que el tamaño mínimo de muestra depende del número de relaciones que se especifiquen en el modelo (entre las variables latentes). La tabla 57 presenta el tamaño de muestra sugerido para estudios PLS-SEM.

Tabla 57. *Tamaño de muestra sugerido para estudios de PLS-SEM*

Numero de relaciones en el modelo estructural	Número mínimo de observaciones en la muestra
2	52
3	59
4	65
5	70
6	75
7	80
8	84
9	88
10	91

Fuente: Marcoulides y Saunders (2006) como es citado por Martínez Ávila, & Fierro Moreno (2018).

A pesar de la diversidad de opiniones respecto al tamaño pequeño de la muestra estas recomendaciones se puede considerar un punto de partida. Hair Jr et al. (2007) no recomiendan una muestra menor a 50. Un número empírico de muestra recomendado es de 100 a 200 para favorecer los resultados del modelo (Hair Jr et al., 2007; Hoyle, 1995). Reinartz et al., (2009) aducen que se necesitan cuando menos 100 muestras para tener niveles suficientes de poder estadístico, siempre y cuando el modelo de medida tenga cierta calidad. Hair Jr et al. (2007) insisten en que se establezca una razón entre el número de observaciones y el número de variables, siendo lo mínimo cinco a uno, con diez a uno como el tamaño aceptable. Agregan que inclusive algunos investigadores proponen veinte a uno, sin embargo, si el número es muy grande se corre el riesgo de que algunas correlaciones se consideren significativas cuando en realidad solo estén ahí por casualidad. El investigador debe de buscar la obtención de una razón muy alta por variable, para poder minimizar la posibilidad de derivar los factores que son únicos de la muestra, sin que se pueda generalizar, pero si no se puede evitar tener razones muy bajas de casos y variables, la interpretación de los datos se tiene que hacer con mucha cautela (Hair Jr et al., 2007)

3.5.4.1 Efecto del tamaño de la muestra

En el análisis multivariante el tamaño de la muestra afecta a los resultados independientemente de si este es pequeño o grande, es decir el tamaño muestral tiene un impacto sustancial en la consecución de la significación estadística (Hair Jr et al., 2007). En el caso de muestras pequeñas puede por un lado resultar en muy poca potencia estadística de la prueba de forma que los resultados significativos no puedan ser identificados; y por el otro puede resultar en un “aprovechamiento” excesivo de los datos de tal forma que sean “demasiados buenos para ser verdad”, es decir que se ajusten muy bien a la muestra porque son artificialmente buenos, pero que, sin embargo, no sean generalizables en el peor de los casos, o cuando menos los tamaños muestrales pequeños deben de ser interpretados con cautela (Hair Jr et al., 2007).

Capítulo IV Resultados

En este capítulo se presentan los resultados generales de la población encuestada, se desarrolla el análisis inferencial de los constructos del modelo. Se presentan el resultado del análisis de las ecuaciones estructurales y por último se explican las hipótesis rechazadas y no rechazadas.

4.1 Características generales de los participantes

La participación por género en el estudio estuvo dominada por los hombres con un 72.0%, mientras que las mujeres representaron un 10.0%, ver tabla 58.

Tabla 58. *Género de los participantes*

Género	n	%
Masculino	36	72.00%
Femenino	5	10.00%
No proporcionó género	9	18.00%
Total	50	100.00%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

En el estudio la mayor cantidad de participantes fue de la empresa Zircon de México, de Ensenada, con un 38.0%, seguidos de ICU Medical con 12.0%, y el resto con 2.0% cada uno, ver tabla 59.

Tabla 59. *Empresas participantes en el estudio*

Empresa	n	%
Zircon de México	19	38.0%
ICU Medical	6	12.0%
Arneses y Conexiones	1	2.0%
ECT	1	2.0%
Fender	1	2.0%

Honeywell	1	2.0%
Navico	1	2.0%
Saki Corporation	1	2.0%
Signify Electronics México	1	2.0%
TE Connectivity	1	2.0%
Subtotal	39	66.0%
No proporcionó empresa	17	34.0%
Total	50	100.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

En cuanto a la localización geográfica, Ensenada aportó la mayor cantidad de participantes con un 66.0%, Tijuana contribuyo con un 6.0% y Tecate con un 2.0%, ver tabla 60.

Tabla 60. *Ciudades participantes en el estudio*

Localidad	n	%
Ensenada	33	66.0%
Tijuana	5	10.0%
CDMX	2	4.0%
Tecate	1	2.0%
Subtotal	41	82.0%
No proporcionó localidad	9	18.0%
Total	50	100.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

El puesto laboral de los participantes estuvo dominado por los Ingenieros con un 38.0%, seguido de los Gerentes con un 22.0%, hubo dos posiciones con 4.0% cada uno, y cuatro posiciones con 3.0% para cada uno, ver tabla 61.

Tabla 61. *Puesto laboral de los participantes*

Posición	n	%
Ingeniero	19	38.00%
Gerente	10	22.00%
Asistente de control de documentos	2	4.0%
Coordinador	2	4.0%
Supervisor	2	4.0%
Auditor de Calidad	1	2.0%
Director	1	2.0%
Especialista en Cotizaciones	1	2.0%
Soporte de configuración	1	2.0%
Subtotal	39	78.0%
No proporcionó puesto	11	22.0%
Total	50	100.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

Los departamentos de los participantes fueron dominados por el departamento de Ingeniería con un 28.0% del total, seguidos por Calidad con 12.0% cada uno, y el último lugar fue compartido por siete departamentos con un 2.0% cada uno, ver tabla 62.

Tabla 62. *Departamentos participantes en el estudio*

Departamento	n	%
Ingeniería	14	28.0%
Calidad	6	12.0%
Operaciones	3	6.0%
Ventas y mercadeo	3	6.0%
Configuración de producto	2	4.0%

Mantenimiento	2	4.0%
Producción	2	4.0%
Comercialización	1	2.0%
Desarrollo y Promoción	1	2.0%
Impulso a la Innovación y Desarrollo	1	2.0%
Seguridad Industrial	1	2.0%
Servicios de Seguimiento	1	2.0%
Servicios Estratégicos	1	2.0%
Soporte de Servicio	1	2.0%
Subtotal	39	78.0%
No proporcionó departamento	11	22.0%
Total	50	100.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

Respecto a la antigüedad, el promedio de los participantes fue de 7.05 años. La antigüedad representó una desviación estándar de 6.822, con un rango de 25 años, un mínimo de 1 año y un máximo de 27 años en la empresa. La edad media de los participantes fue de 35.86 años, con una desviación estándar de 9.387, un rango de edad de 39, un mínimo de 24 años y un máximo de 63 años, ver tabla 63.

Tabla 63. *Estadísticas de antigüedad y edad de los participantes*

Estadísticos	Antigüedad	Edad
Media	6.5	37.3
Desviación Estándar	6.011	11.344
Rango	19.5	44
Mínimo	0.5	23
Máximo	20	67

4.1.1 Opinión de los participantes respecto a la variable independiente: Factores Críticos de Éxito.

Esta variable se midió a través de ocho factores: relacionados al cliente; organizacionales; culturales; humanos; de planeación; tecnológicos; operacionales; y externos. Se utilizó una escala tipo Likert de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo. La tabla 64 refleja la opinión de los participantes respecto a cada categoría. Al realizar el análisis detallado de los datos se puede determinar si para ellos ésta es un factor de éxito o no.

Tabla 64. *Número y porcentaje para opciones de la escala de Factores Críticos de Éxito, medidos de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo*

Factores	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1. Relacionados al cliente	0	0.0%	6	12.0%	11	22.0%	9	18.0%	9	18.0%	11	22.0%	4	8.0%
2. Organizacionales	0	0.0%	2	4.7%	6	14.0%	10	23.3%	11	25.6%	9	20.9%	5	11.6%
3. Culturales	0	0.0%	5	10.0%	4	8.0%	11	22.0%	12	24.0%	10	20.0%	8	16.0%
4. Humanos	0	0.0%	4	9.5%	3	7.1%	5	11.9%	13	31.0%	12	28.6%	5	11.9%
5. Planeación	1	2.3%	10	23.3%	8	18.6%	6	14.0%	8	18.6%	5	11.6%	5	11.6%
6. Tecnológicos	0	0.0%	4	9.3%	8	18.6%	5	11.6%	7	16.3%	12	27.9%	7	16.3%
7. Operacionales	0	0.0%	3	6.5%	10	21.7%	7	15.2%	9	19.6%	10	21.7%	7	15.2%
8. Externos	0	0.0%	0	0.0%	3	6.7%	15	33.3%	10	22.2%	14	31.1%	3	6.7%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

Según la opinión de los participantes, un 22.0% se mostró en desacuerdo en un nivel 3, y el mismo porcentaje se mostró de acuerdo en un nivel 6 respecto a los factores relacionados al cliente, de manera agregada la mayor parte de los participantes estuvieron de acuerdo en que este es un factor de éxito con un 48.0% (sumando los niveles 1 al 3 para estar en desacuerdo y 5 al 7 para estar de acuerdo). Por su parte, un 25.6% coincidió con el nivel 5 de acuerdo respecto a los factores de organizacionales, y de forma agregada un 58.1% de los participantes manifestó estar

de acuerdo con los factores organizacionales como factor de éxito. De la misma manera un 60.0% manifestó estar de acuerdo con los factores culturales. Mientras que un 71.4% mostró estar de acuerdo con los factores humanos; un 60.5% lo hizo con los factores tecnológicos; y un 56.5% con los factores operacionales. Por último 60.0% de los participantes estuvo de acuerdo con los factores externos. Sin embargo, un 44.2% estuvo en desacuerdo que los factores de planeación son un factor de éxito.

4.1.2 Opinión de los participantes respecto a la variable dependiente: Industria 4.0

Esta variable fue medida en dos dimensiones; Medición de la Madurez, e Impacto, cada una de ellas se midió a su vez en diferentes categorías, como se describe a continuación.

4.1.2.1 Medición de la madurez o grado de preparación para Industria 4.0

La dimensión medición de la madurez a su vez se estimó en diez categorías: productos y servicios; clientes; operaciones; tecnología; estrategia; liderazgo; sistema de gobierno (gobernanza); cultura; capital humano; y organización. Se midieron en una escala tipo Likert de 1 = Nunca a 7 = Siempre (ver tabla 65), a excepción de los ítems 9-12 de operaciones; ítem 7 de capital humano; e ítems 3 al 5 de organización, donde se midieron desde 1 = 0% a 7 = 100% (ver tabla 66), mientras que el ítem 5 de clientes se midió desde 1 = Portafolio de productos a 7 = Servicios basados en Big Data “datos como servicio”, ver tabla 67.

Tabla 65. Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = nunca a 7 = siempre

Categorías de madurez	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1. Productos y servicios	0	0.0%	5	11.9%	11	26.2%	5	11.9%	10	23.8%	10	23.8%	1	2.4%
2. Clientes, ítems 1 – 4	0	0.0%	2	4.8%	9	21.4%	3	7.1%	7	16.7%	13	31.0%	8	19.0%
3. Operaciones, ítems 1 – 8	4	9.5%	9	21.4%	9	21.4%	5	11.9%	10	23.8%	3	7.1%	2	4.8%
4. Tecnología	15	35.7%	8	19.0%	5	11.9%	6	14.3%	4	9.5%	3	7.1%	1	2.4%
5. Estrategia	1	2.4%	9	21.4%	9	21.4%	9	21.4%	5	11.9%	9	21.4%	0	0.0%
6. Liderazgo	5	13.2%	9	23.7%	5	13.2%	6	15.8%	4	10.5%	8	21.1%	1	2.6%
7. Sistema de gobierno	0	0.0%	4	9.5%	8	19.0%	7	16.7%	10	23.8%	11	26.2%	2	4.8%

8. Cultura	1	2.4%	2	4.8%	6	14.3%	6	14.3%	9	21.4%	14	33.3%	4	9.5%
9. Capital humano, ítems 1 – 6	0	0.0%	6	14.3%	10	23.8%	8	19.0%	7	16.7%	6	14.3%	5	11.9%
10. Organización, ítems 1 – 2	2	4.8%	11	26.2%	8	19.0%	7	16.7%	7	16.7%	7	16.7%	0	0.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

Tabla 66. *Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = 0% a 7 = 100%*

Categorías de madurez	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
3. Operaciones, ítems 9 – 12	5	13.9%	4	11.1%	5	13.9%	8	22.2%	6	16.7%	6	16.7%	2	5.6%
9. Capital humano, ítems 7	8	19.0%	10	23.8%	6	14.3%	6	14.3%	7	16.7%	4	9.5%	1	2.4%
10. Organización, ítems 3 – 5	3	7.1%	11	26.2%	12	28.6%	3	7.1%	10	23.8%	2	4.8%	1	2.4%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

Tabla 67. *Número y porcentaje para opciones de la escala de Medición de la Madurez, medidos de 1 = Portafolio de productos a 7 = Servicios basados en Big Data “datos como servicio”*

Categorías de madurez	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
5. Clientes, ítems 5	9	21.4%	9	21.4%	8	19.0%	4	9.5%	7	16.7%	3	7.1%	2	4.8%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4

Los siguientes datos son valores agregados del 1 al 3 como nunca y del 3 al 5 como siempre. 66.7% de los participantes manifestaron que en sus empresas nunca se utilizaban elementos de la categoría de tecnología. Mientras que un 45.2% expresaron que los elementos de la categoría estrategia no se usaban en sus empresas. De la misma manera un 52.40% manifestaron que sus empresas nunca utilizaban elementos de la categoría operaciones. De forma similar un 50.0% expresó que sus empresas no usaban elementos de la categoría liderazgo. Un 50.0% mencionó que nunca se utilizaban elementos de la categoría organización. Por otro lado, un 64.3% de los participantes estuvieron de acuerdo que sus empresas utilizaban elementos de la categoría cultura.

En la misma línea un 50.0% expresaron que sus empresas siempre utilizaban elementos de la categoría productos y servicios. Un 42.9% estuvo de acuerdo que sus empresas utilizaban siempre elementos de la categoría capital humano. También un 66.7% de los participantes expresaron que sus empresas siempre utilizaban elementos de la categoría clientes. Por último un 54.8% expresaron que sus empresas utilizaban elemento se la categoría gobernanza.

4.1.2.1.1 Estimación del grado de preparación/madurez de la Industria de B.C. como Industria 4.0

Tomando como referencia la tabla 28 “Niveles de medición de la madurez y/o grado de preparación como I4.0”, de manera agregada el nivel de madurez de Baja California (285 puntos) se ubicó en el nivel 4 Intermedio (57%), las categorías mejor posicionadas fueron productos y servicios, operaciones y cultura, mientras que las peores posicionadas fueron clientes, organización y gobernanza, ver figura 12.



Figura 12. Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica de B.C. por categoría.

De forma individual Ensenada (279 puntos) se ubicó en el nivel 4 Intermedio (57%), las categorías mejor posicionadas fueron productos y servicios, operaciones y cultura, mientras que las peores posicionadas fueron clientes, organización y gobernanza, ver figura 13.



Figura 13. Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Ensenada por categoría.

Tijuana (313 puntos) por su parte se ubicó en un nivel mayor, 5 convertido (71%), las categorías mejor posicionadas fueron productos y servicios, cultura, estrategia y operaciones, mientras que las peores posicionadas fueron clientes, organización, gobernanza y clientes, ver figura 14.



Figura 14. Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Tijuana por categoría.

Por último, Tecate (337 puntos) se ubicó al igual que Tijuana en un nivel 5 convertido (71%). las categorías mejor posicionadas fueron clientes, gobernanza y estrategia, mientras que las peores posicionadas fue tecnología, ver figura 15. Dos ciudades, Mexicali y Rosarito, no llenaron cuestionarios.



Figura 15. Nivel de preparación como Industria 4.0 de la industria electrónica en Tecate por categoría.

Por último, una comparación de los niveles de preparación/madurez se pueden observar en la figura 16, donde se aprecia que el mejor posicionado fue Tecate y el peor fue Ensenada.

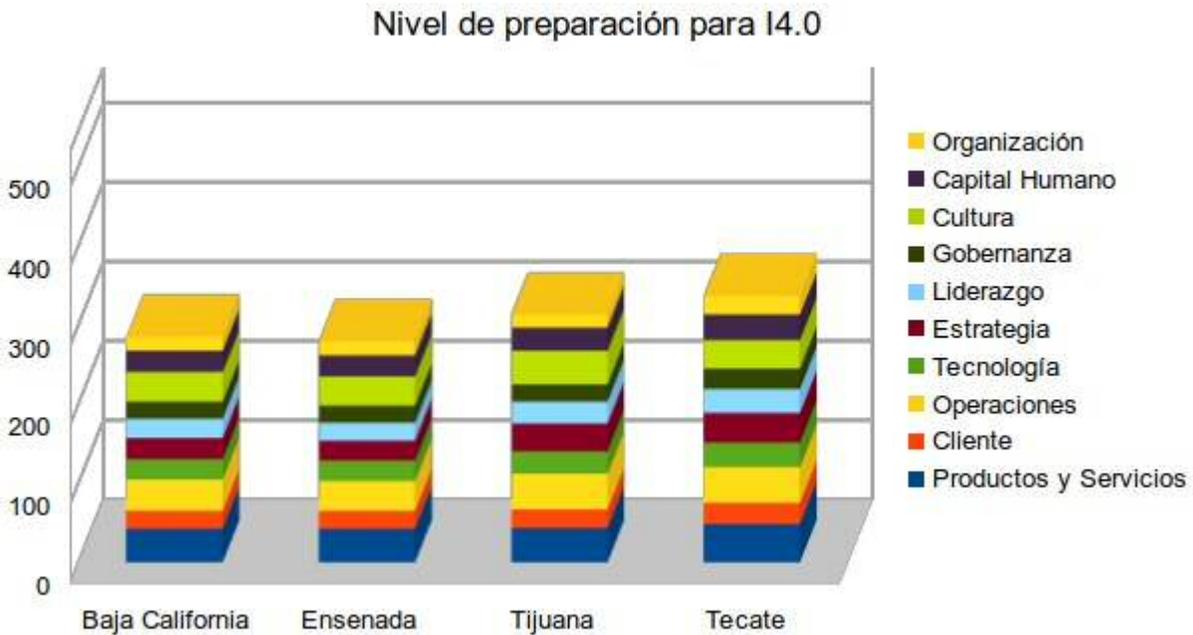


Figura 16. Niveles de preparación para I4.0 de Baja California y ciudades participantes.

4.1.2.2 Impacto de la Industria 4.0

La dimensión impacto se midió en tres categorías: Ambiental, organizacional y social. Se utilizó una escala tipo Likert de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo. Estos valores se transformaron de la siguiente manera 1 a 3 = En desacuerdo; 4 = Indeciso; y 5 a 7 = De acuerdo, para simplificar su análisis y reporte de resultados.

En opinión de los participantes, un 59.21% expresó estar de acuerdo respecto a los ítems del impacto ambiental de la Industria 4.0 en sus empresas. Mientras que un 50% opinó de la misma manera respecto a los ítems del impacto organizacional. Por otro lado, los participantes mostraron estar en desacuerdo y de acuerdo con los ítems del impacto social por igual con un 45.33% para cada uno de ellos, ver tabla 68.

Tabla 68. Número y porcentaje para opciones de la escala de Impacto, medidos de 1 = Totalmente en desacuerdo a 7 = Totalmente de acuerdo

Categorías de impacto	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1. Social	3	7.3%	4	9.8%	9	22.0%	8	19.5%	5	12.2%	11	26.8%	1	2.4%

2. Ambiental	7	17.1%	5	12.2%	4	9.8%	4	9.8%	7	17.1%	8	19.5%	6	14.6%
3. Organizacional	5	12.5%	3	7.5%	6	15.0%	7	17.5%	5	12.5%	8	20.0%	6	15.0%

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4.

4.2 Análisis Inferencial

El análisis inferencial se hizo por medio del análisis paramétrico, calculando los coeficientes de correlación de Pearson. Este análisis fue preliminar previo al análisis de ecuaciones estructurales como un primer acercamiento para posteriormente analizarlos por medio de ecuaciones estructurales que permite un análisis más completo de los datos.

4.2.1 Análisis paramétrico

Para el análisis paramétrico se utilizaron los promedios de los factores críticos de éxito, categorías de medición de madurez e impacto, para facilitar el análisis y reporte de resultados.

4.2.1.1 Coeficientes de correlación de Pearson (r)

4.2.1.1.1 Relación entre factores críticos de éxito (FCE) y medición de la madurez (MM)

Se analizó la relación entre los ocho factores críticos de éxito con las diez categorías de medición de la madurez y se obtuvieron los siguientes resultados.

Se observó una relación moderadamente positiva pero estadísticamente significativa, $p < .01$, entre los factores relacionados a los clientes y las categorías de: clientes; operaciones; tecnología; estrategia; liderazgo; gobernanza; capital humano; y organizacional, siendo la más alta la de operaciones con un $r(34) = .696$. Se encontró una relación débil positiva con la categoría cultural con un $r(34) = .492$, $p < .01$. Y no se encontró una relación estadísticamente significativa con la categoría de productos y servicios, ver tabla 69.

Tabla 69. *Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores relacionados con el cliente y la medición de la madurez*

Categorías de medición de la madurez									
PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR

	<i>r</i>	.289	.598**	.696**	.567**	.653**	.583**	.535**	.492**	.557**	.566**
FCE-RC	Sig.	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Para los factores organizacionales se encontraron relaciones moderadamente altas y estadísticamente significativas, $p < .01$, con todas las categorías de la medición de madurez a excepción de productos y servicios que fue moderadamente baja con un $r(34) = .372$, $p < .01$. La relación más alta fue con la categoría clientes con un valor de $r(34) = .693$, $p < .01$, ver tabla 70.

Tabla 70. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre factores organizacionales y la medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
	<i>r</i>	.372*	.693**	.604**	.550**	.636**	.667**	.661**	.606**	.568**	.637**
FCE-OR	Sig.	0.025	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Los factores culturales si mostraron relación con todas las categorías de la medición de madurez, todas estadísticamente significativas, $p < .01$, con una relación moderadamente baja para productos y servicios, pero moderadamente alta para todas las demás, siendo la más alta la de gobernanza con un $r(34)$ de .734, $p < .01$, ver tabla 71.

Tabla 71. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre culturales y la medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
FCE-CU	<i>r</i>	.480**	.715**	.671**	.539**	.672**	.676**	.734**	.689**	.616**	.673**
	Sig.	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

De igual manera para los factores humanos se encontró relación con todas las categorías, para $p < .01$. Moderadamente baja para productos y servicios, tecnología y estrategia. Y moderadamente alta para clientes, operaciones, liderazgo, gobernanza, cultura, capital humano y organización, siendo la más alta la de clientes con un valor de $r(34) = .724$, $p < .01$, ver tabla 72.

Tabla 72. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre factores humanos y la medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
FCE-HU	<i>r</i>	.474**	.724**	.542**	.472**	.493**	.586**	.674**	.666**	.646**	.666**
	Sig.	0.004	0.000	0.001	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Los factores de planeación presentaron una relación moderadamente baja para las categorías de tecnología y cultura, moderadamente alta para las categorías clientes, operaciones, estrategia, liderazgo, gobernanza, capital humano y organización, para $p < .01$, siendo la mayor categoría la de organización con un valor para $r(34) = .619$, $p < .01$. Presentó una relación moderadamente baja con la categoría de productos y servicios, pero estadísticamente significativa para $p < .05$, ver tabla 73.

Tabla 73. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre factores de planeación y la medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
FCE-PL	<i>r</i>	.355*	.587**	.578**	.402*	.579**	.544**	.611**	.461**	.545**	.619**
	Sig.	0.033	0.000	0.000	0.015	0.000	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CL = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Para los factores tecnológicos se observó una relación moderadamente alta, para $p < .01$ para todas las categorías, siendo la más alta para la categoría de liderazgo con valor para $r(34) = .739$, $p < .01$, ver tabla 74.

Tabla 74. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre factores tecnológicos y la medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
FCE-TE	<i>r</i>	.521**	.728**	.677**	.627**	.611**	.739**	.712**	.700**	.602**	.670**
	Sig.	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En el caso de los factores operacionales, estos mostraron una relación moderadamente baja, para $p < .05$ para la categoría productos y servicios, mientras que mostraron una relación moderadamente alta con todas las demás categorías para $p < .01$, destacando la categoría de liderazgo con un valor $r = .750$, $p < .01$, ver tabla 75.

Tabla 75. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores operacionales y la medición de la madurez

	Categorías de medición de la madurez										
	PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR	
FCE-OP	r	.424*	.619**	.741**	.645**	.636**	.750**	.641**	.615**	.691**	.696**
	Sig.	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Por último, para los factores externos, se encontró una relación moderadamente baja, con una $p < .05$, con la categoría de tecnología, y con una $p < .01$ con la categoría de operaciones. Se encontró una relación moderadamente alta, para $p < .01$ con las categorías de clientes, estrategia, liderazgo, gobernanza, cultura, capital humano y organización, siendo la más alta para la categoría clientes con un $r(34) = .631$, $p < .01$. Mientras que no se encontró relación estadísticamente significativa con la categoría de productos y servicios, ver tabla 76.

Tabla 76. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores externos y la medición de la madurez

	Categorías de medición de la madurez										
	PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR	
FCE-EX	r	.298	.631**	.444**	.397*	.504**	.563**	.564**	.537**	.545**	.525**
	Sig.	0.077	0.000	0.007	0.016	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

4.2.1.1.2 Relación entre factores críticos de éxito (FCE) e impacto de la I4.0

La relación entre los FCE y las categorías de impacto de la I4.0 se describe a continuación.

La relación entre los factores relacionados con el cliente y el impacto social ($r(34) = .369$, $p < .05$) y organizacional ($r = .382$, $p < .05$) presentó una relación moderadamente baja. Mientras que fue también moderadamente baja con el impacto ambiental ($r(34) = .472$, $p < .01$) pero a un nivel de significancia menor.

Para los factores organizacionales la relación fue moderadamente alta para el impacto social ($r(34) = .542$, $p < .01$), y moderadamente baja ($r(34) = .410$, $p < .05$) con el impacto ambiental, mientras que no mostró relación estadísticamente significativa con el impacto organizacional.

Los factores culturales mostraron una relación moderadamente alta para el impacto social ($r(34) = .530$, $p < .01$) e impacto ambiental ($r(34) = .532$, $p < .01$), y una relación moderadamente baja ($r(34) = .439$, $p < .01$) con el impacto organizacional.

Para los factores humanos se encontró relación moderadamente alta ($r(34) = .511$, $p < .01$) con el impacto social, y moderadamente baja ($r(34) = .344$, $p < .05$) con el impacto ambiental, pero no mostró relación estadísticamente significativa con el impacto organizacional.

Los factores de planeación mostraron relación estadísticamente significativa para todas las categorías de impacto. Moderadamente alto para social ($r(34) = .528, p < .01$), y moderadamente bajo para ambiental ($r(34) = .465, p < .01$) y organizacional ($r(34) = .451$).

Para los factores tecnológicos la relación fue moderadamente alta con el impacto social ($r(34) = .572, p < .01$), y moderadamente baja para el impacto ambiental ($r(34) = .398, p < .05$), mientras que no presentó relación estadísticamente significativa con el impacto organizacional.

Los factores operacionales mostraron una relación moderadamente alta para el impacto social ($r(34) = .536, p < .01$) y moderadamente baja para el impacto ambiental ($r(34) = .432, p < .01$). Con el impacto organizacional presentó una relación moderada baja ($r(34) = .406, p < .05$).

Mientras que para los factores externos no se encontró ninguna relación estadísticamente significativa con ninguna categoría de impacto, ver tabla 77.

Tabla 77. *Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre factores externos y el impacto de la I4.0*

		Impacto		
		Social	Ambiental	Organizacional
FCE-EX	<i>r</i>	.255	.212	.173
	Sig.	0.133	0.214	0.312

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

4.2.1.1.3 Relación entre impacto de la I4.0 y medición de la madurez

También se exploró la relación entre las categorías de impacto y las categorías de medición de la madurez, los resultados se muestran a continuación.

Para el impacto social se encontraron relaciones moderadamente positivas y estadísticamente significativas, $p < .01$, con las categorías de operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo,

gobernanza, capital humano y organización, destacando esta última ($r(34) = .657, p < .01$). Y relaciones positivamente bajas, $p < .01$, con las categorías de productos y servicios, y clientes. Por último, moderadamente baja con la categoría cultural ($r(34) = .383, p < .05$), ver tabla 78.

Tabla 78. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto social y medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
Impacto Social	<i>r</i>	.459**	.480**	.610**	.542**	.502**	.587**	.613**	.383*	.572**	.657**
	Sig.	0.005	0.003	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, Cl = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Por su parte el impacto ambiental mostró una relación moderadamente alta, con un $p < .01$, con las categorías de productos y servicios, operaciones, gobernanza y organización, destacando operaciones ($r(34) = .569, p < .05$). Una relación moderadamente baja, para $p < .01$, con las categorías de estrategia y capital humano. Y por último moderadamente baja, para $p < .05$ con clientes, tecnología, liderazgo y cultura, ver tabla 79.

Tabla 79. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto ambiental y medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
Impacto Ambiental	<i>r</i>	.562**	.389*	.569**	.402*	.495**	.388*	.527**	.345*	.432**	.543**
	Sig.	0.000	0.019	0.000	0.015	0.002	0.019	0.001	0.039	0.009	0.001

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CI = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral)

Para el impacto organizacional se encontró una relación moderadamente alta, con un $p < .01$, con las categorías de operaciones, estrategia, gobernanza, capital humano y organización, siendo la más alta para esta última ($r(34) = .588$, $p < .01$). Se encontró una relación moderadamente baja, para un $p < .05$, con productos y servicios, tecnología, liderazgo y cultura. Mientras que no se encontró una relación estadísticamente significativa con la categoría clientes, ver tabla 80.

Tabla 80. *Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre el impacto organizacional y medición de la madurez*

		Categorías de medición de la madurez									
		PS	CL	OP	TE	ES	LI	GO	CU	CH	OR
Impacto	<i>r</i>	.392*	.311	.550**	.412*	.572**	.399*	.530**	.346*	.531**	.588**
Organizacional	Sig.	0.018	0.065	0.001	0.012	0.000	0.016	0.001	0.039	0.001	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con SPSS v24.

Nota 1: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CI = clientes, OP = operaciones; TE = tecnología, ES = estrategia; LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 2: ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota 3: * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral)

4.2.3 Análisis de regresión lineal

Se busca determinar qué factores críticos de éxito pueden predecir las categorías de la medición de madurez el impacto de la Industria 4.0, para lo cual se realizó el cálculo del coeficiente de determinación R^2 , el análisis de varianza y el cálculo de los coeficientes.

4.2.3.1 Categorías de medición de la madurez

Para la obtención de los coeficientes estandarizados se probaron todas las categorías de la medición con los factores críticos de éxito, pero solo se obtuvo para alguna de ellos, que serían los factores que pueden predecir dicha categoría.

4.2.3.1.1 Análisis de los factores críticos de éxito como predictores de la categoría productos y servicios.

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos fue significativo $F(1,35)12.66$, $p=.001$. El valor de R^2 fue de .27 que indica que aproximadamente un tercio de la variabilidad de productos y servicios es explicada por los factores tecnológicos. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores tecnológicos y la categoría de productos y servicios, ver tabla 81.

Tabla 81. *Coefficientes estandarizados para productos y servicios*

	Coefficientes estandarizados Beta	t	Sig.
(Constante)		4.052	0.000
F. Tecnológicos	0.521	3.558	0.001

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24

4.2.3.1.2 Análisis de los factores críticos de éxito como predictores de la categoría clientes.

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos y factores humanos fue significativo $F(2,35)23.34$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .59 que indica que aproximadamente un sesenta por ciento de la variabilidad de la categoría clientes es explicada por los factores tecnológicos y factores humanos. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores tecnológicos y factores humanos con la categoría de clientes, ver tabla 82.

Tabla 82. *Coefficientes estandarizados para clientes*

	Coefficientes estandarizados Beta	t	Sig.
(Constante)		2.623	0.013
F. Tecnológicos	0.415	2.225	0.033
F. Humanos	0.392	2.105	0.043

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.3 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría operaciones.

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos fue significativo $F(1,35)41.38$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .55 que indica que un poco más de la mitad de la variabilidad de la categoría operaciones es explicada por los factores operacionales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores operacionales y la categoría de operaciones, ver tabla 83.

Tabla 83. *Coefficientes estandarizados para operaciones*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		-0.619	0.540
F. Operacionales	0.741	6.433	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.4 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría tecnología

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores operacionales fue significativo $F(2,35)24.21$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .4 que indica que aproximadamente un cuarenta por ciento de la variabilidad de la categoría tecnología es explicada por los factores operacionales y no por los factores tecnológicos que sería lo esperado. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores operacionales con la categoría tecnología, ver tabla 84.

Tabla 84. *Coefficientes estandarizados para tecnología*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		-1.240	0.223
F. Operacionales	0.645	4.920	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.5 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría estrategia

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos fue significativo $F(1,35)27.99$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .45 que indica que aproximadamente un 45 por ciento de la variabilidad de la categoría estrategia es explicada por los factores culturales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores culturales y la categoría de estrategia, ver tabla 85.

Tabla 85. *Coefficientes estandarizados para estrategia*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		-1.143	0.261
F. Culturales	0.672	5.290	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.6 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría liderazgo

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores operacionales fue significativo $F(1,35)43.66$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .56 que indica que un poco más de la mitad de la variabilidad de la categoría liderazgo es explicada por los factores operacionales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores operacionales con la categoría liderazgo, ver tabla 86.

Tabla 86. *Coefficientes estandarizados para liderazgo*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		-1.339	0.189
F. Operacionales	0.750	6.608	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.7 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría gobernanza

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores culturales fue significativo $F(1,35)39.71$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .54 que indica que un poco más de la mitad de la variabilidad de la categoría gobernanza es explicada por los factores culturales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores culturales y la categoría de gobernanza, ver tabla 87.

Tabla 87. *Coefficientes estandarizados para gobernanza*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		2.777	0.009
F. Culturales	0.734	6.302	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.8 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría cultura

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos fue significativo $F(1,35)32.65$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .49 que indica que casi la mitad de la variabilidad de la categoría cultura es explicada por los factores tecnológicos. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores tecnológicos con la categoría cultura, ver tabla 88.

Tabla 88. *Coefficientes estandarizados para la categoría cultura*

	Coefficientes estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		2.806	0.008
F. Tecnológicos	0.700	5.714	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.9 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría capital humano

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores operacionales fue significativo $F(1,35)31.13$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .48 que indica que casi la mitad de la variabilidad de la categoría capital humano es explicada por los factores operacionales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores operacionales y la categoría capital humano, ver tabla 89.

Tabla 89. *Coefficientes estandarizados para la categoría capital humano*

	Coeficientes		
	estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		1.038	0.307
F. Operacionales	0.691	5.580	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.1.10 Análisis de factores críticos de éxito como predictores de la categoría organización

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores operacionales fue significativo $F(1,35)31.88$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .49 que indica que casi la mitad de la variabilidad de la categoría organización es explicada por los factores operacionales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores operacionales con la categoría cultura, ver tabla 90.

Tabla 90. *Coefficientes estandarizados para organización*

	Coeficientes		
	estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		0.227	0.822
F. Operacionales	0.696	5.646	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.2 Categorías de impacto de la Industria 4.0

Para la obtención de los coeficientes estandarizados se probaron todas las categorías del impacto con los factores críticos de éxito, los factores que pueden predecir dicha categoría son los incluidos en las tablas.

4.2.3.2.1 Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto social

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores tecnológicos fue significativo $F(1,35)16.50$, $p=.000$. El valor de R^2 fue de .33 que indica que aproximadamente un tercio de la variabilidad del impacto social es explicada por los factores tecnológicos. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores tecnológicos y la categoría capital humano, ver tabla 91.

Tabla 91. *Coefficientes estandarizados para el impacto Social*

	Coeficientes		
	estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		1.993	0.054
F. Tecnológicos	0.572	4.062	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.2.2 Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto ambiental

El resultado del análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores culturales fue significativo $F(1,35)13.40$, $p=.001$. El valor de R^2 fue de .28 que indica que casi un tercio de la variabilidad del impacto ambiental es explicada por los factores culturales. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores culturales con la categoría ambiental, ver tabla 92.

Tabla 92. *Coefficientes estandarizados para el impacto Ambiental*

	Coeficientes		
	estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		0.823	0.416
F. Culturales	0.532	3.661	0.001

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.2.3.2.3 Análisis de factores críticos de éxito como predictores del impacto organizacional

El análisis de la varianza mostró que el efecto de los factores de planeación fue significativo $F(1,35)8.673, p=.006$. El valor de R^2 fue de .20 que indica que aproximadamente una quinta parte de la variabilidad del impacto organizacional es explicada por los factores de planeación. Los coeficientes estandarizados muestran que se acepta la hipótesis de relación lineal entre factores de planeación y el impacto organizacional, ver tabla 93.

Tabla 93. *Coefficientes estandarizados para el impacto organizacional*

	Coeficientes		
	estandarizados Beta	<i>t</i>	Sig.
(Constante)		3.662	0.001
F. de Planeación	0.451	2.945	0.006

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SPSS v24.

4.3 Análisis de las ecuaciones estructurales SEM

En esta sección se presentan los resultados del modelado de ecuaciones estructurales, utilizando el modelado de ruta (*path*) PLS-PM, ejecutado en el software especializado SmartPLS v3.

4.3.1 Aplicación de la metodología PLS-SEM

Hair Jr et al. (2017) recomiendan una metodología de ocho etapas para llevar a cabo un estudio de PLS-SEM, a saber: 1) especificación del modelo estructural; 2) especificación de los modelos de medición; 3) recolección y análisis de los datos; 4) estimación del modelo de ruta PLS; 5) evaluación de los resultados PLS-SEM de los modelo de medidas reflectivas y medidas formativas; 6) evaluación de los resultados PLS-SEM del modelo estructural; 7) análisis PLS-SEM avanzados; y 8) interpretación de resultados y obtención de conclusiones. Se utilizó parcialmente esta metodología, la cual se desarrolla en las siguientes secciones, a excepción de la etapa siete que involucra estimación de efectos no lineales, análisis de matriz de importancia desempeño y otros análisis no realizados en esta etapa de la investigación, y la etapa ocho, la cual es parte de otro capítulo de esta investigación.

4.3.1.1 Especificación del modelo estructural

Con base en la revisión de la literatura se definieron tres variables latentes o constructos: factores críticos de éxito (FCE), grado de preparación/madurez (MM) e impacto de la Industria 4.0 (IMP), también tres hipótesis para este modelo, planteadas en la sección 2.4.2.2, ver figura 17.

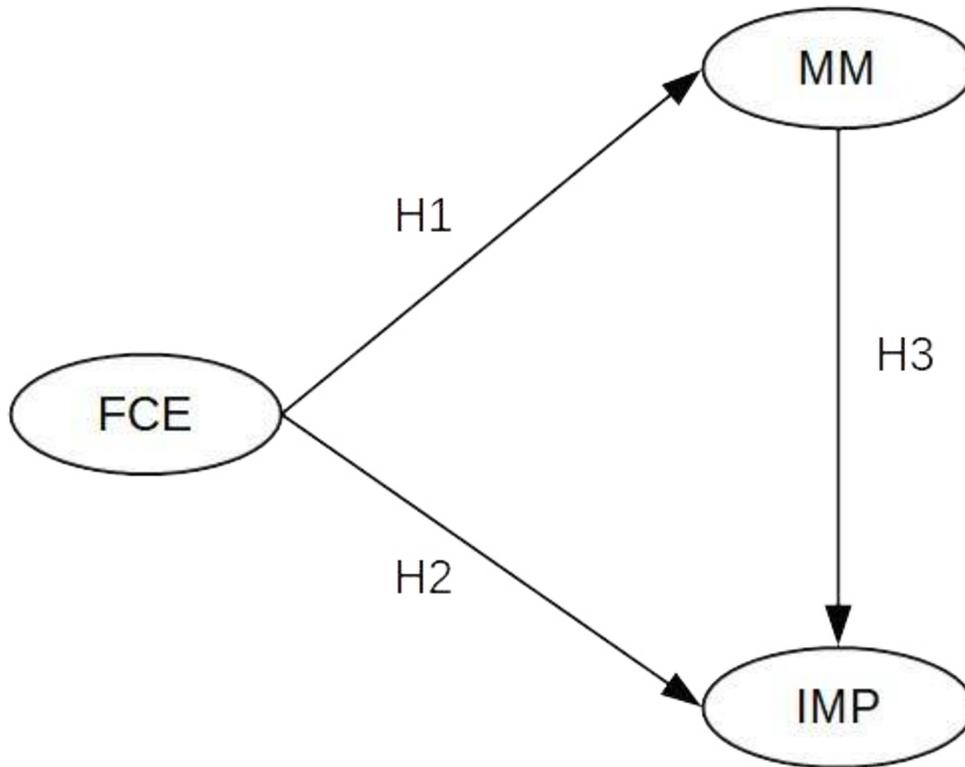


Figura 17. Modelo estructural (teórico) del PLS-SEM

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2 Especificación de los modelos de medición

Se generan las variables observadas (ítems o indicadores), las cuales deben de establecerse contando con un respaldo teórico de los constructos o variables latentes (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). En esta investigación se decidió medir las variables latentes con indicadores reflectivos que se obtuvieron bajo un proceso riguroso de revisión de la literatura y validación del cuestionario, como se detalla en los capítulos II y III. La medición de las variables latentes se hizo como sigue: factores críticos de éxito con 56 indicadores, el grado de preparación/madurez con 78, y el impacto de la Industria 4.0 con 14, ver figura 18.

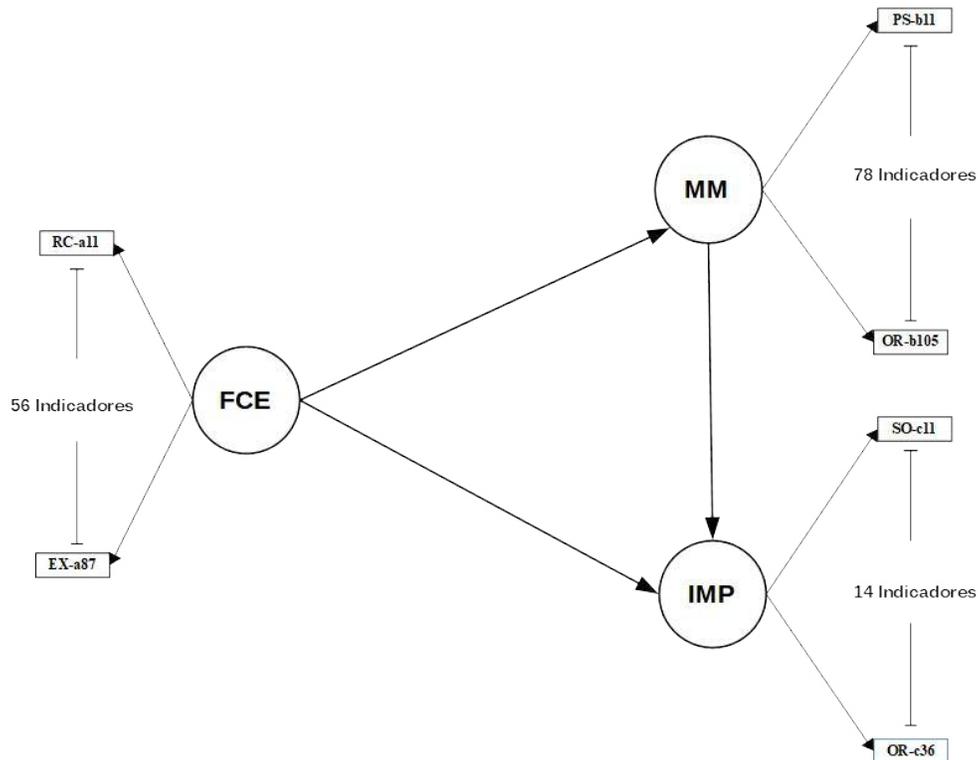


Figura 18. Modelo de medición del PLS-SEM

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3 Recolección y análisis de los datos

La recolección de datos se describe en el capítulo 3 en la sección 3.4, primero se preparó un archivo con la base de datos en LibreOffice Calc y se después se arregló para su procesamiento en SmartPLSv3. Dentro de este software se creó un proyecto y se importó el archivo anterior, en la vista de datos se especificó -99 para valores perdidos, se construyó el modelo como se muestra en la figura 18 arriba, asignando los nombres apropiados a las variables latentes y conectándolas de acuerdo con el modelo planteado. Es importante destacar que de manera inicial SmartPLS conecta los indicadores de forma reflectiva, para cambiarlos a formativos solo se tiene que cambiar el sentido de las flechas.

4.3.1.4 Estimación del modelo de ruta PLS

Se realizaron los cálculos correspondientes, donde la evaluación del modelo de ecuaciones estructurales se hizo por el método del modelo de ruta PLS. Para evaluar la validez del modelo, se utilizó el software SmartPLS v3, con los siguientes parámetros: esquema de ponderaciones

camino (path); iteraciones máximas 300; criterio de parada 10^{-7} ; pesos iniciales 1; criterio para valores perdidos reemplazo por la media; y sin vector de ponderación.

Antes de evaluar los resultados es importante verificar si el algoritmo convergió, esto se hace revisando cuantas interacciones se necesitaron para que se encontrara una solución, si se necesitaron el número máximo de iteraciones fijadas antes de correr el modelo, significa que no se encontró una solución estable (Hair Jr et al., 2017). El algoritmo se detuvo después de 6 iteraciones, lo que significa que se encontró una solución estable.

Una vez que se confirmó que el algoritmo convergió, se revisaron los resultados, los cuales se bosquejan en la figura 19, donde se muestran los elementos del modelo estructural y de medición: los indicadores y sus cargas factoriales, los coeficientes de regresión estandarizados o coeficiente de ruta (CR) y el R^2 .

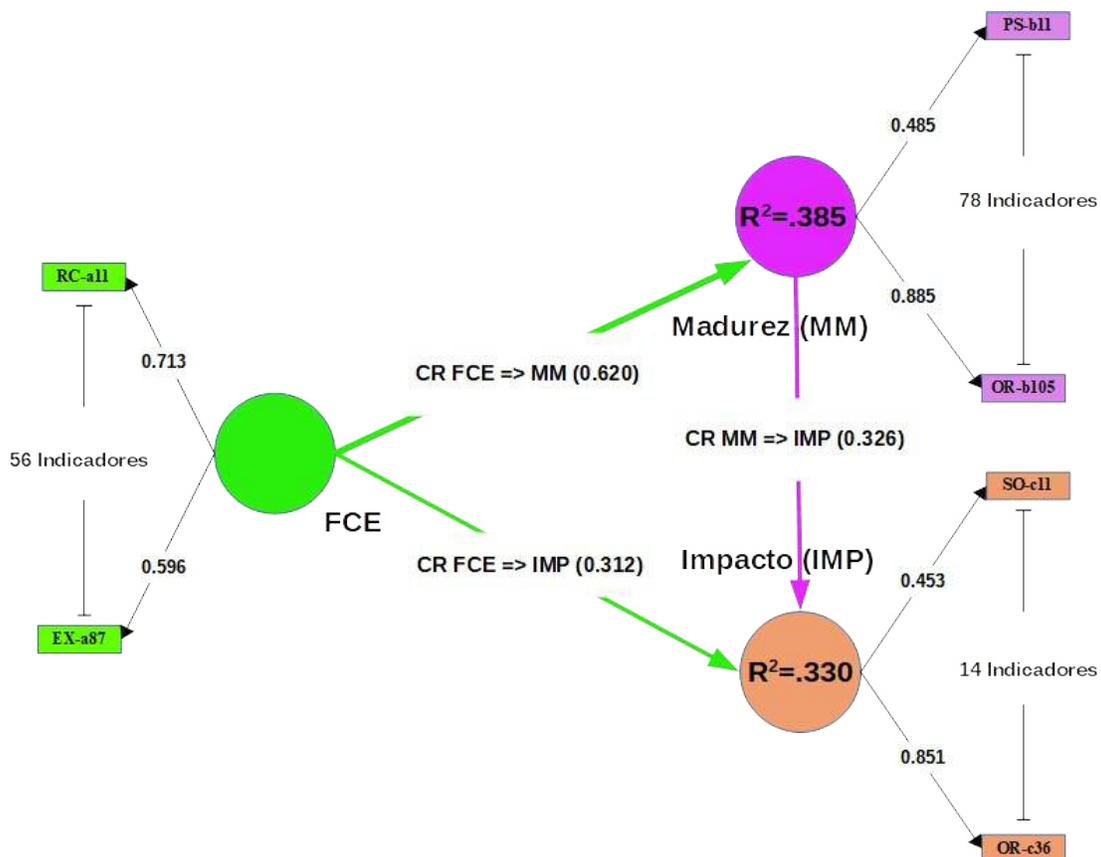


Figura 19. Estimación del modelo de ruta (path) del PLS-SEM

Fuente: Elaboración propia basado en Martínez Ávila & Fierro Moreno (2018) con datos procesados en SmartPLS v3.

4.3.1.5 Evaluación de los resultados PLS-SEM de los modelos de medición con indicadores reflectivos y formativos

Para la evaluación de los resultados PLS-SEM se tiene que evaluar tanto el modelo reflectivo como el modelo formativo. La evaluación del modelo reflectivo se puede realizar a través de: 1) la fiabilidad o consistencia interna por medio del alfa de Cronbach y fiabilidad compuesta; 2) la validez convergente a través de la fiabilidad del indicador individual y el promedio de la varianza extraída (*AVE, Average Variance Extracted*); y 3) la validez discriminante por medio del criterio de *Fornell-Larcker*, las cargas cruzadas entre indicadores y variables latentes y el indicador de razón de correlaciones *Heterotrait-Monotrait Ratio* (HTMT) (Hair Jr. Et al., 2017; Hair, Risher, Sarstedt & Ringle, 2019; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

El modelo formativo se puede evaluar por medio de: 1) la validez convergente; 2) la colinealidad entre indicadores; y 3) la significancia y relevancia de los pesos exteriores (Hair Jr et al., 2017; Henseler et al., 2009). En las siguientes secciones se presentan los resultados de la evaluación de las medidas reflectivas, las únicas evaluadas en esta investigación.

4.3.1.5.1 Análisis de las cargas

Para la evaluación del modelo de medición con indicadores reflectivos, primeramente, se tienen que estimar las relaciones entre variables latentes reflectivas y sus indicadores o cargas externas, (Hair Jr et al., 2017; Hair et al., 2019).

El criterio utilizado para evaluar la fiabilidad de los indicadores es el tamaño de la carga o pesos factoriales (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Existen cuando menos dos criterios para la evaluación de las cargas: un criterio establece que al evaluar las cargas factoriales, se deben aceptar ítems con cargas iguales o mayores a 0.70, ya que esto conlleva a que existe mayor varianza compartida entre el constructo y su medición, que en el error de la varianza (Barclay, et al., 1995; Carmines & Zeller (1979); Fornell & Larcker, 1981; Henseler et al., 2009). El otro criterio establece que cuando existan dentro del mismo constructo otros indicadores con cargas altas, ítems con valores de 0.50 se pueden aceptar como válidos (Chin, 1998; Keil et al., 2000;

Hair, Sarstedt, Pieper & Ringle, 2012). Cuando un indicador presente una carga menor al valor recomendado, el indicador podrá ser eliminado y el modelo se puede volver a ejecutar para estimar los resultados (Urbach & Ahlemann, 2010).

A pesar de los criterios anteriores, Hulland (1999) asevera que no es poco común que en estudios de ciencias sociales se obtengan cargas externas débiles, menores a 0.70, especialmente cuando se usan escalas recientemente desarrollada. Por su parte Hair Jr et al. (2017) y Henseler et al. (2009) al respecto recomiendan que en lugar de eliminar automáticamente indicadores que tengan cargas externas menores a 0.70, se examine cuidadosamente los efectos que su eliminación tendrá tanto en la fiabilidad compuesta como en la validez del contenido del constructo. Hair Jr et al. (2017) agregan que la eliminación de indicadores con cargas externas débiles entre 0.40 y 0.70, solo deben hacerse cuando su eliminación incremente la fiabilidad compuesta o el promedio de la varianza extraída arriba del valor limite sugerido, o también se puede considerar el grado en que su eliminación afecte la validez de contenido. Sin embargo, indicadores con cargas externas muy bajas, menores a 0.40, deben siempre ser eliminados del constructo (Bagozzi & Phillips, 1991; Hair et al., 2011)

Se procedió a ejecutar el modelo con todos los 148 ítems, de los cuales ocho de estos resultaron con carga menor a 0.50, 32 con valores de carga iguales o mayores a 0.50 pero menores a 0.70, y 108 ítems con valores superiores a 0.70. Enseguida se procedió a evaluar el efecto de eliminar los ítems menores a 0.70, tanto en la validez interna como en la validez convergente, de hecho, también se evaluó su efecto en la validez discriminante. Primero se corrió el modelo con los ítems con cargas mayores a 0.70, 108 ítems; después se ejecutó con los ítems con cargas mayores a 0.50, 140 ítems; y por último con cargas mayores a 0.40, 146 ítems.

El efecto de eliminar indicadores con cargas menores a las tradicionalmente establecidas arrojó que la fiabilidad compuesta no se ve significativamente afectada. Sin embargo, la *AVE* si obtuvo mayores valores a menor cantidad de ítems, es decir, cuando se eliminaron indicadores con cargas más bajas. En otros criterios como en la significancia de las cargas externas (todas significativas para $\alpha=.001$) hubo una mejora al usar también las tres opciones con indicadores eliminados en lugar de usar todos los indicadores. De igual manera fue el caso de las cargas cruzadas. Los resultados de las cuatro corridas se presentan en la tabla 94.

Tabla 94. *Evaluación de criterios para diferentes cantidades de ítems*

Criterio	Número de indicadores utilizados											
	148 (todos)			108 (L>0.70)			140 (L>0.50)			146 (L>.40)		
	Constructos											
	FCE	MM	IMP	FCE	MM	IMP	FCE	MM	IMP	FCE	MM	IMP
Fiabilidad compuesta	0.985	0.990	0.966	0.986	0.990	0.973	0.986	0.992	0.971	0.986	0.990	0.966
<i>AVE</i>	0.554	0.560	0.678	0.639	0.641	0.751	0.577	0.578	0.719	0.570	0.560	0.678
Significancia cargas externas	54*/56	78/78	14/14	41/41	55/55	12/12	53/53	47/47	13/13	54/54	78/78	14/14
Cargas cruzadas	Si**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración propia con cálculos hechos en SmartPLS v3.

Nota 1: FCE = Factores Críticos de Éxito, MM = medición de la madurez, IMP = impacto de la Industria 4.0, L = carga externa.

Nota 2: * La carga externa para el ítem FCE-a84 no fue significativa y la carga para el ítem FCE-a81 fue significativa para $\alpha=0.05$.

Nota 3: ** La carga cruzada para el ítem FCE-a84 tiene la misma carga para FCE e IMP.

Con base en los resultados de la tabla 94 se decidió realizar el análisis detallado usando 140 ítems, ya que en el caso de la *AVE* el valor para IMP subió más de 0.70, el cual es considerado un muy buen valor (Alarcón, Sánchez, & De Olavide, 2015). Los ítems con cargas menores a 0.50 eliminados fueron: FCE-EXa81 “aspectos gubernamentales favorables” con una carga de 0.366, FCE-EXa82 “contar con una certeza legal” con carga de 0.452, FCE-EXa84 “una infraestructura regional favorable” que obtuvo una carga de 0.312, MM-PSb11 “la empresa ofrece productos individualizados” cuya carga fue 0.485, MM-PSb14 “la empresa ofrece productos con microelectrónica incrustada” con carga de 0.467, MM-PSb110 “la empresa incluye en sus productos o empaque etiquetas RFID” cuya carga fue 0.498, MMb38 “en la empresa los prototipos de los productos se desarrollan digitalmente” que obtuvo una carga de 0.443, por último IMP-ORc11 “se espera que en la empresa se reduzca el número de empleos no calificados” con carga de 0.453.

4.3.1.5.2 Evaluación de la consistencia interna

4.3.1.5.2.1 Coeficiente alfa de Cronbach

La consistencia interna indica la fiabilidad del constructo, mientras que la fiabilidad es la consistencia o estabilidad en una escala de medición, y se mide tradicionalmente por medio del alfa de Cronbach, el cual evalúa la cantidad de correlación entre los ítems de la escala (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018; Oviedo & Arias, 2015, Quero 2010). Este coeficiente expresa si existe una buena correlación entre los ítems del instrumento, donde un valor alto supone que los puntajes de todos los elementos dentro de un constructo tienen el mismo rango y significado (Cronbach, 1951, Kelley, 1942). Si el valor de este coeficiente es 0.25 se considera que tiene una fiabilidad baja, si es 0.50 es media o regular, si es mayor de 0.75 se acepta y si es mayor de 0.90 se considera alta (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista, 2010). Los valores del alfa de Cronbach de este estudio para los tres constructos fueron superiores a 0.60.

4.3.1.5.2.2 Fiabilidad compuesta

A pesar del valor alto obtenido en el alfa de Cronbach, existe una limitación en este índice, ya que tiene la tendencia de arrojar una subestimación grave de la confiabilidad de la consistencia interna de las variables latentes en los modelos de ruta (*path*) PLS (Hair Jr., Sarstedt, Hopkins, & Kuppelwieser, 2014; Werts, Linn & Jöreskog, 1974), además de asumir de forma equivocada que todos los ítems aportan de la misma manera a la fiabilidad (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018; Hair Jr. et al., 2014 ; Máynez Guaderrama & Vargas Salgado, 2019). Para remediar esta limitación se puede utilizar otro índice denominado fiabilidad compuesta, que considera la diferencia de carga de los indicadores y que no supone que todos los indicadores tienen el mismo peso, por lo que se puede considerar un mejor estimador de la consistencia interna (Chin 1998; Hair Jr. Et al., 2014; Henseler et al., 2009). Este indicador se obtiene por medio de las cargas estandarizadas de los ítems, junto con el error de medición de cada ítem (Barclay, et al., 1995; Shook, Ketchen Jr., Hult & Karmar, 2004). El valor de la fiabilidad compuesta varía entre 0 y 1, donde valores de 0.60 a 0.70 de la consistencia interna son aceptables en investigaciones exploratorias y valores de 0.70 o 0.90 en etapas más avanzadas de la investigación se consideran satisfactorias, valores inferiores a 0.60 indican una falta de fiabilidad (Hair Jr et al., 2017).

4.3.1.5.2.3 Valor ρ_A

Mientras que el alfa de Cronbach puede ser muy conservador, la confiabilidad compuesta puede ser muy liberal, por lo que el verdadero valor puede estar entre estos dos índices, es decir estos valores serían los límites inferior y superior de la consistencia interna (Hair Jr et al., 2017; Hair et

al., 2019). Como alternativa al alfa de Cronbach y a la fiabilidad compuesta se puede usar ρ_A como una medida aproximadamente exacta de la fiabilidad del constructo, ya que generalmente se encuentra entre estos dos valores por lo que puedes ser un buen compromiso (Hair et al., 2019)

En la tabla 95 se presentan los valores de los estadísticos del alfa de Cronbach, de la fiabilidad compuesta y del valor ρ_A , además de los intervalos de confianza bootstrap que Hair et al. (2019) siguieren que también se reporten. Como se puede notar en todos los casos los valores exceden el 0.60 mínimo requerido para este tipo de investigación.

Tabla 95. *Estadísticos de la consistencia interna*

Variable latente	Alfa de Cronbach	Fiabilidad compuesta	P_A	Intervalos de confianza (bootstrap, 95%)
FCE	0.985	0.986	0.987	0.979 – 0.989
MM	0.990	0.990	0.992	0.985 – 0.992
IMP	0.967	0.971	0.971	0.945 – 0.979

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

4.3.1.5.3 Evaluación de la validez convergente

4.3.1.5.3.1 Cargas externas

La validez convergente muestra que tan bien representados están los indicadores respecto a su constructo o variable latente. ya que estima el porcentaje de varianza que los factores latentes del error de medición explican con relación a estos indicadores (Chin, 1998; Henseler et al., 2009; Shyu, Li & Tang, 2013). Es decir, mide que tanto los indicadores de un constructo confluyen o comparten una alta proporción de la varianza (Hair Jr et al., 2017). Para que se considere que hay una validez convergente, los indicadores de un constructo deben mostrar una alta correlación entre ellos (Campbell & Fiske, 1959). Los investigadores consideran tanto (1) a los indicadores de las cargas externas como (2) a el promedio de la varianza extraída (*AVE*) para la evaluación la validez convergente (Hair Jr et al., 2017).

La fiabilidad del constructo o variable latente establece que parte de la varianza de un indicador puede ser explicada por dicha variable, al observar la consistencia de sus indicadores, esto es al

evaluar las cargas factoriales que representan las correlaciones simples de estos indicadores con su constructo respectivo (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018; Götz, Liehr-Gobbers, & Krafft, 2010; Seidel & Back, 2009). Al tamaño de las cargas externas también se le conoce como fiabilidad del indicador (Hair Jr et al., 2017). Como se estableció en la sección 4.3.1.5.1.1 el modelo finalmente se ejecutó con 140 ítems, ya que se eliminaron aquellos con cargas inferiores a 0.50. La Tabla 96 muestra las cargas externas del modelo de medición y su valor *t* correspondiente, para el constructo factores críticos de éxito.

Tabla 96. *Carga y valores t de los indicadores para Factores Críticos de Éxito*

Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>									
RC-a11	0.712	10.771	OR-a21	0.638	7.825	CU-a31	0.800	13.968	HU-a41	0.743	11.867
RC-a12	0.758	12.484	OR-a22	0.793	16.532	CU-a32	0.809	9.755	HU-a42	0.747	11.277
RC-a13	0.743	12.311	OR-a23	0.800	16.045	CU-a33	0.798	12.479	HU-a43	0.772	13.985
RC-a14	0.673	8.812	OR-a24	0.831	21.786	CU-a34	0.744	8.645	HU-a44	0.851	17.313
RC-a15	0.656	7.071	OR-a25	0.771	10.992	CU-a35	0.806	13.891	HU-a45	0.714	8.547
RC-a16	0.570	5.367	OR-a26	0.708	7.940	CU-a36	0.873	31.953	HU-a46	0.573	4.464
RC-a17	0.662	5.761	OR-a27	0.874	24.970				HU-a47	0.826	17.800
RC-a18	0.530	4.884									
Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>									
PL-a51	0.848	23.547	TE-a61	0.852	24.212	OP-a71	0.825	21.553	EX-a83	0.666	7.167
PL-a52	0.814	18.118	TE-a62	0.877	22.269	OP-a72	0.850	26.445	EX-a85	0.673	8.084
PL-a53	0.803	16.400	TE-a63	0.766	14.916	OP-a73	0.856	25.754	EX-a86	0.567	5.794
PL-a54	0.785	14.071	TE-a64	0.830	17.040	OP-a74	0.774	12.334	EX-a87	0.590	4.744
PL-a55	0.793	14.798	TE-a65	0.806	17.420	OP-a75	0.814	20.051			
PL-a56	0.781	11.274	TE-a66	0.776	12.274	OP-a76	0.720	8.379			
PL-a57	0.827	14.515	TE-a67	0.554	3.672	OP-a77	0.764	15.170			

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

Nota 1: Los valores son estadísticamente significativos para ($\alpha=.001$, $t>3.291$).

Nota 2: Cargas factoriales aceptables > 0.50

Nota 2: Factores Críticos de Éxito: RC = relacionados al cliente, OR = organizacionales, CU = culturales; HU = humanos, PL = planeación, TE = tecnológicos, OP = operacionales EX = externos.

En la Tabla 97 se muestran las cargas factoriales del modelo y su valor t correspondiente, para el constructo medición del grado de preparación o madurez.

Tabla 97. Carga y valores t de los indicadores para grado de preparación/medición de la madurez

Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t
PS-b12	0.581	7.642	CL-b21	0.640	6.260	OP-b31	0.751	13.911	TE-b41	0.792	16.059
PS-b13	0.753	14.605	CL-b22	0.724	14.417	OP-b32	0.759	10.848	TE-b42	0.829	17.431
PS-b15	0.584	7.908	CL-b23	0.679	10.603	OP-b33	0.500	4.630	TE-b43	0.793	13.582
PS-b16	0.613	7.645	CL-b24	0.784	16.288	OP-b34	0.736	10.819	TE-b44	0.687	9.452
PS-b17	0.642	9.711	CL-b25	0.624	7.480	OP-b35	0.797	12.945	TE-b45	0.690	9.947
PS-b18	0.725	9.274				OP-b36	0.818	14.137	TE-b46	0.761	10.317
PS-b19	0.611	6.731				OP-b37	0.659	7.968	TE-b47	0.733	9.157
						OP-b39	0.875	33.043	TE-b48	0.751	11.111
						OP-b310	0.841	18.533	TE-b49	0.743	10.474
						OP-b311	0.889	35.606	TE-b410	0.772	11.399
						OP-b312	0.771	15.156			
Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t	Ítem	Cargas	Valor t
ES-b51	0.867	30.525	LI-b61	0.854	24.382	GO-b71	0.631	9.215	CU-b81	0.711	10.498
ES-b52	0.915	51.243	LI-b62	0.852	24.330	GO-b72	0.837	19.632	CU-b82	0.753	10.932
ES-b53	0.913	48.980	LI-b63	0.884	36.435	GO-b73	0.577	8.194	CU-b83	0.784	12.620
ES-b54	0.898	37.824	LI-b64	0.897	28.365	GO-b74	0.582	8.543	CU-b84	0.733	11.238
ES-b55	0.770	12.729	LI-b65	0.845	26.806	GO-b75	0.750	9.829	CU-b85	0.703	9.748
ES-b56	0.852	21.937	LI-b66	0.771	16.566				CU-b86	0.726	10.653
ES-b57	0.808	17.569	LI-b67	0.814	16.684				CU-b87	0.763	14.776
ES-b58	0.858	25.411							CU-b88	0.731	12.493

ES-b59	0.797	14.744			
Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>	Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>
CH-b91	0.779	14.336	OR-b101	0.683	10.275
CH-b92	0.818	21.884	OR-b102	0.692	10.486
CH-b93	0.644	8.307	OR-b103	0.765	17.347
CH-b94	0.773	16.902	OR-b104	0.771	18.176
CH-b95	0.730	11.329	OR-b105	0.889	41.134
CH-b96	0.708	10.369			
CH-b97	0.821	16.676			

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

Nota 1: Los valores son estadísticamente significativos para ($\alpha=.001$, $t>3.291$).

Nota 2: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CI = clientes, OP = operaciones, TE = tecnología, ES = estrategia, LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 3: Cargas factoriales aceptables > 0.50

En la Tabla 98 se muestran las cargas factoriales del modelo y su valor *t* correspondiente, para el constructo impacto de la Industria 4.0.

Tabla 98. *Carga y valores t de los indicadores para impacto de la Industria 4.0*

Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>	Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>	Ítem	Cargas	Valor <i>t</i>
SO-c12	0.683	8.358	AM-c21	0.906	26.347	OR-c31	0.916	25.752
SO-c13	0.746	9.099	AM-c22	0.925	38.566	OR-c32	0.937	32.298
SO-c14	0.741	9.670	AM-c23	0.867	14.497	OR-c33	0.915	25.714
			AM-c24	0.873	14.749	OR-c34	0.854	11.994
						OR-c35	0.753	6.954
						OR-c36	0.854	13.719

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

Nota 1: Los valores son estadísticamente significativos para ($\alpha=.001$, $t>3.291$).

Nota 2: Categorías de impacto: SO = social, AM = ambiental, OR = organizacional.

Nota 3: Cargas factoriales aceptables > 0.50

Los valores t mostraron un rango de 3.672 a 51.243, y todas las cargas son estadísticamente significativas para ($\alpha=.001$, $t>3.291$).

4.3.1.5.3.2 Promedio de la varianza extraída *AVE*

Por otro lado, una medida común para establecer una validez de convergencia es por medio del promedio de la varianza extraída (*AVE*) (Hair Jr et al., 2017; Fornell & Larcker, 1981). El valor de la varianza promedio extraída recomendado como aceptable es que sea mayor de 0.50, ya que significa que la variable latente respectiva incluye 50% o más de la varianza de los indicadores (Hair Jr et al., 2017; Chin, 1998; Fornell & Larcker, 1981, Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018), ya que se puede considerar que la construcción es más fiable (Hair Jr et al., 2017; Wu, 2008).

La Tabla 99 muestra los valores de *AVE* para los constructos: factores críticos de éxito, medición de madurez e impacto de la Industria 4.0, como se puede observar presentan valores superiores al mínimo aceptable de 0.50.

Tabla 99. *Análisis de varianza extraída de los constructos*

Constructos	Promedio de la varianza extraída <i>AVE</i> > 0.50
Factores críticos de éxito	0.577
Medición de madurez	0.578
Impacto de la Industria 4.0	0.719

Fuente: Elaboración propia basado en Galván & Esquinca (2019) con datos procesados en SmartPLS v3.

4.3.1.5.4 Evaluación de la validez discriminante

4.3.1.5.4.1 Criterio de Fornell-Larcker

La validez discriminante muestra que tan empíricamente único es un constructo, es decir en qué medida este difiere de otros dentro del mismo modelo, asegurando que represente un fenómeno

de interés que otros constructos no puedan capturar (Bagozzi & Fornell, 1982; Hair Jr et al., 2017; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). Cuando no se comprueba la validez discriminante, los resultados del modelo estructural serán potencialmente el resultado de inconsistencias estadísticas y no resultados reales del modelo estructural (Imran, Aziz & Hamid, 2017). La evaluación de la validez discriminante se hace por medio de tres criterios: 1) criterio de Fornell-Larcker, 2) cargas cruzadas entre indicadores y variables latentes y 3) el indicador HTMT (Hair Jr et al., 2017; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

El criterio de Fornell-Larcker estima que cantidad de varianza un constructo obtiene de sus indicadores, esta debe ser superior a la varianza que el constructo comparte con otros constructos (Hair Jr et al., 2017; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). El promedio de la varianza extraída (*AVE*), se determina calculando la varianza compartida entre los diferentes constructos del modelo, después se verifica que la desviación estándar, es decir la raíz cuadrada de la varianza extraída sea mayor que la varianza compartida, si este es el caso se puede afirmar que existe validez discriminante (Fornell & Larcker, 1981; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018), si no es el caso los constructos ejercen una influencia en la variación mayor que las variables observadas con las que están teóricamente relacionadas (Farrell, 2010).

En la tabla 100 se muestra la matriz de correlaciones de la validez discriminante, en la línea diagonal se puede ver el promedio de la varianza extraída (*AVE*) para cada una de las variables latentes de esta investigación, mientras que los demás datos son correlaciones entre las variables latentes. Se confirma por este indicador que hay validez discriminante ya que los valores *AVE* son superiores a las correlaciones entre constructos.

Tabla 100. *Validez discriminante (criterio Fornell – Larcker)*

Variable latente	Factores críticos de éxito	Medición de madurez	Impacto de la I4.0
Factores críticos de éxito	0.760		
Medición de madurez	0.620	0.760	
Impacto de la I4.0	0.514	0.520	0.848

Fuente: Elaboración propia basado en Galván & Esquinca (2019) con datos procesados en SmartPLS v3.

4.3.1.5.4.2 Cargas cruzadas

El criterio de las cargas cruzadas establece que las cargas externas de los indicadores para su constructo asociado deben ser más grande que las cargas cruzadas, es decir su correlación con otros constructos (Barclay et al., 1995; Hair Jr et al., 2017).

En la tabla 101 se presentan la comparación de las cargas factoriales cruzadas de los indicadores de una determinada variable latente con las cargas de los indicadores de las otras variables latentes, se puede observar que en todos los casos las cargas externas de los indicadores para cada variable latente son mayor que las cargas cruzadas con las otras variables latentes, por lo que se puede concluir que tiene validez discriminante.

Tabla 101. *Cargas factoriales cruzadas de los indicadores y variables latentes del modelo*

Ítem	Factores críticos de éxito	Medición de madurez	Impacto de la I4.0
RC-a11	0.712	0.433	0.330
RC-a12	0.758	0.457	0.424
RC-a13	0.743	0.491	0.524
RC-a14	0.673	0.352	0.407
RC-a15	0.656	0.286	0.130
RC-a16	0.570	0.348	0.279
RC-a17	0.662	0.391	0.215
RC-a18	0.530	0.358	0.417
OR-a21	0.638	0.337	0.343
OR-a22	0.793	0.537	0.314
OR-a23	0.800	0.455	0.295
OR-a24	0.831	0.499	0.299
OR-a25	0.771	0.407	0.363
OR-a26	0.708	0.439	0.332
OR-a27	0.874	0.531	0.480
CU-a31	0.800	0.506	0.493
CU-a32	0.809	0.482	0.256
CU-a33	0.798	0.449	0.440

CU-a34	0.744	0.400	0.306
CU-a35	0.806	0.491	0.459
CU-a36	0.873	0.588	0.488
HU-a41	0.743	0.468	0.370
HU-a42	0.747	0.518	0.380
HU-a43	0.772	0.426	0.379
HU-a44	0.851	0.493	0.405
HU-a45	0.714	0.367	0.177
HU-a46	0.573	0.310	0.107
HU-a47	0.826	0.474	0.404
PL-a51	0.848	0.520	0.450
PL-a52	0.814	0.483	0.517
PL-a53	0.803	0.451	0.485
PL-a54	0.785	0.505	0.411
PL-a55	0.793	0.515	0.429
PL-a56	0.781	0.430	0.440
PL-a57	0.827	0.491	0.428
TE-a61	0.852	0.562	0.431
TE-a62	0.877	0.556	0.422
TE-a63	0.766	0.528	0.407
TE-a64	0.830	0.540	0.405
TE-a65	0.806	0.510	0.443
TE-a66	0.776	0.496	0.424
TE-a67	0.554	0.428	0.218
OP-a71	0.825	0.522	0.440
OP-a72	0.850	0.523	0.365
OP-a73	0.856	0.599	0.431
OP-a74	0.774	0.526	0.392
OP-a75	0.814	0.523	0.412
OP-a76	0.720	0.482	0.580
OP-a77	0.764	0.521	0.440
EX-a83	0.666	0.348	0.312
EX-a85	0.673	0.356	0.349
EX-a86	0.567	0.375	0.263
EX-a87	0.590	0.494	0.357
PS-b12	0.278	0.581	0.297
PS-b13	0.420	0.753	0.244
PS-b15	0.189	0.584	0.353
PS-b16	0.289	0.613	0.378

PS-b17	0.374	0.642	0.358
PS-b18	0.399	0.725	0.374
PS-b19	0.282	0.611	0.317
CL-b21	0.448	0.640	0.164
CL-b22	0.476	0.724	0.370
CL-b23	0.431	0.679	0.294
CL-b24	0.483	0.784	0.356
CL-b25	0.320	0.624	0.219
OP-b31	0.464	0.751	0.253
OP-b32	0.477	0.759	0.378
OP-b33	0.217	0.500	0.415
OP-b34	0.407	0.736	0.348
OP-b35	0.568	0.797	0.423
OP-b36	0.496	0.818	0.570
OP-b37	0.345	0.659	0.404
OP-b39	0.569	0.875	0.451
OP-b310	0.567	0.841	0.460
OP-b311	0.577	0.889	0.441
OP-b312	0.422	0.771	0.370
TE-b41	0.549	0.792	0.488
TE-b42	0.451	0.829	0.429
TE-b43	0.481	0.793	0.361
TE-b44	0.364	0.687	0.414
TE-b45	0.364	0.690	0.431
TE-b46	0.381	0.761	0.434
TE-b47	0.403	0.733	0.343
TE-b48	0.409	0.751	0.490
TE-b49	0.442	0.743	0.338
TE-b410	0.433	0.772	0.453
ES-b51	0.583	0.867	0.467
ES-b52	0.601	0.915	0.449
ES-b53	0.617	0.913	0.481
ES-b54	0.615	0.898	0.475
ES-b55	0.520	0.770	0.406
ES-b56	0.516	0.852	0.448
ES-b57	0.490	0.808	0.444
ES-b58	0.507	0.858	0.484

ES-b59	0.492	0.797	0.501
LI-b61	0.505	0.854	0.390
LI-b62	0.548	0.852	0.330
LI-b63	0.606	0.884	0.391
LI-b64	0.562	0.897	0.503
LI-b65	0.529	0.845	0.390
LI-b66	0.628	0.771	0.416
LI-b67	0.494	0.814	0.348
GO-b71	0.491	0.631	0.386
GO-b72	0.545	0.837	0.453
GO-b73	0.241	0.577	0.164
GO-b74	0.258	0.582	0.200
GO-b75	0.440	0.750	0.465
CU-b81	0.378	0.711	0.229
CU-b82	0.351	0.753	0.404
CU-b83	0.430	0.784	0.270
CU-b84	0.382	0.733	0.389
CU-b85	0.389	0.703	0.239
CU-b86	0.442	0.726	0.201
CU-b87	0.539	0.763	0.218
CU-b88	0.388	0.731	0.234
CH-b91	0.594	0.779	0.423
CH-b92	0.611	0.818	0.497
CH-b93	0.346	0.644	0.255
CH-b94	0.527	0.773	0.459
CH-b95	0.412	0.730	0.379
CH-b96	0.343	0.708	0.194
CH-b97	0.474	0.821	0.412
OR-b101	0.580	0.683	0.590
OR-b102	0.603	0.692	0.590
OR-b103	0.505	0.765	0.432
OR-b104	0.503	0.771	0.414
OR-b105	0.497	0.889	0.451

SO-c12	0.560	0.492	0.683
SO-c13	0.609	0.561	0.746
SO-c14	0.473	0.439	0.741
AM-c21	0.429	0.422	0.906
AM-c22	0.470	0.451	0.925
AM-c23	0.405	0.404	0.867
AM-c24	0.403	0.403	0.873
OR-c31	0.357	0.420	0.916
OR-c32	0.392	0.428	0.937
OR-c33	0.368	0.438	0.915
OR-c34	0.359	0.375	0.854
OR-c35	0.251	0.362	0.753
OR-c36	0.336	0.357	0.854

Fuente: Elaboración propia basado en Galván & Esquinca (2019) con datos procesados en SmartPLS v3.

Nota 1: Factores Críticos de Éxito: RC = relacionados al cliente, OR = organizacionales, CU = culturales; HU = humanos, PL = planeación, TE = tecnológicos, OP = operacionales EX = externos.

Nota 2: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CI = clientes, OP = operaciones, TE = tecnología, ES = estrategia, LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 3: Categorías de impacto: SO = social, AM = ambiental, OR = organizacional.

4.3.1.5.4.3 El Indicador *HTMT*

El indicador *HTMT* es un método reciente para la evaluación de la validez discriminante, convirtiéndose en uno de los componentes clave de la evaluación del modelo (Henseler, Ringle & Sarstedt, 2015). Hair Jr et al. (2017) aseveran que el criterio del indicador *HTMT* es superior a los enfoques tradicionales para la evaluación de la validez discriminante, como el criterio de Fornell y Larcker y las cargas cruzadas, ya que estos no pueden detectar una falta de validez discriminante. Este indicador está basado en el promedio de las correlaciones denominadas *heterotrait-heterome*, y evalúa las correlaciones entre los indicadores que examinan diferentes constructos (Máynez Guaderrama & Vargas Salgado, 2019). Si las correlaciones entre los indicadores que miden la misma variable latente (correlaciones *monotrait-heteromethod*) son mayores que las correlaciones entre los indicadores que miden diferentes variables latentes (correlaciones *heterotrait-heteromethod*) habrá validez discriminante (Hair Jr et al., 2017;

Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). De acuerdo con Imran et al (2017) el valor del indicador debe ser inferior a 1, un valor menor o igual a 0.90 es un valor frecuentemente utilizado (Gold, Malhotra & Segars, 2001; Máynez Guaderrama & Vargas Salgado, 2019), sin embargo, un valor límite más conservador de 0.85 parece el más adecuado cuando los constructos del modelo de ruta son conceptualmente diferentes (Henseler et al., 2015).

En la tabla 102 se presentan los resultados del indicador *HTMT* para los constructos de esta investigación, como se puede observar todos los valores son inferiores a 0.85 por lo que se comprueba una vez más que el modelo tiene validez discriminante.

Tabla 102. *Validez discriminante de acuerdo con el criterio Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)*

Variable latente	Factores críticos de éxito	Medición de madurez	Impacto de la I4.0
Factores críticos de éxito			
Medición de madurez	0.607		
Impacto de la I4.0	0.492	0.503	

Fuente: Elaboración propia basado en Galván & Esquinca (2019) con datos procesados en SmartPLS v3.

Además de examinar y validar la razón *HTMT*, se deben de verificar los intervalos de confianza de la razón *HTMT*, los cuales no deben de contener el valor 1 para que se confirme que se tiene validez discriminante (Hair Jr et al., 2017; Hair et al., 2019). Como se puede observar la tabla 103, ninguno de los intervalos de confianza incluye el valor 1.

Tabla 103. *Intervalos de confianza para el Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)*

Relaciones hipotéticas	Muestra original	Intervalo de confianza (97.5%)
MM → FCE	0.607	(0.488 – 0.713)
IMP → FCE	0.492	(0.327 – 0.692)

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

4.3.1.5.5 Resumen de los indicadores de fiabilidad del modelo de medición

La tabla 104 presenta un resumen de los indicadores de fiabilidad del modelo de medición que muestra que el modelo planteado es un modelo robusto. 1) Tiene fiabilidad de consistencia interna ya que tanto el alfa de Cronbach como la fiabilidad compuesta es superior a 0.70 para todos las variables latentes del modelo; 2) La validez convergente demostró que más del 50% de la varianza es explicada por los indicadores de las variables latentes y probó que los valores AVE son mayores a las correlaciones entre constructos; y 3) También tiene validez discriminante ya que los intervalos de confianza de la razón HTMT no incluye 1 para ninguna de la variable latente (Hair Jr et al., 2017).

Tabla 104. *Resumen de resultados del modelo de medición reflectivo*

Variable latente	Indicadores	V.D.	Validez convergente		Fiabilidad de consistencia interna		Validez discriminante
		Cargas cruzadas	Indicador de fiabilidad	AVE	Alfa de Cronbach	Fiabilidad compuesta	Intervalos de confianza de HTMT no
		*	>0.50	>0.50	> 0.60	> 0.60	
Factores críticos de éxito	RC	Si	Si	0.577	0.985	0.986	Si
	OR	Si	Si				
	CU	Si	Si				
	HU	Si	Si				
	PL	Si	Si				
	TE	Si	Si				
	OP	Si	Si				
	EX	Si	Si				

Medición de madurez	PS	Si	Si	0.578	0.990	0.992	Si
	CL	Si	Si				
	OP	Si	Si				
	TE	Si	Si				
	ES	Si	Si				
	LI	Si	Si				
	GO	Si	Si				
	CU	Si	Si				
	CH	Si	Si				
	OR	Si	Si				
Impacto de la I4.0	SO	Si	Si	0.719	0.967	0.971	Si
	AM	Si	Si				
	OR	Si	Si				

Fuente: Elaboración propia basado en Hair Jr et al. (2017) con datos procesados en SmartPLS v3

Nota 1: Factores Críticos de Éxito: RC = relacionados al cliente, OR = organizacionales, CU = culturales; HU = humanos, PL = planeación, TE = tecnológicos, OP = operacionales EX = externos.

Nota 2: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CL = clientes, OP = operaciones, TE = tecnología, ES = estrategia, LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 3: Categorías de impacto: SO = social, AM = ambiental, OR = organizacional.

Nota 4: * Cargas mayores con el constructo correspondiente.

4.3.1.6 Evaluación de los resultados PLS-SEM del modelo estructural

La evaluación del modelo de medición ha demostrado tener validez y confiabilidad, por lo que se evaluó el modelo estructural, en los siguiente cinco aspectos: 1) evaluación de la colinealidad; 2) evaluación de la significancia y relevancia de los relaciones del modelo estructural; 3) valoración del nivel de R^2 (varianza explicada); 4) valoración de los tamaños de los efectos f^2 ; 5) valoración

de la relevancia predictiva Q^2 ; y 6) valoración de los tamaños de los efectos q^2 (Hair Jr et al., 2017; Hair et al., 2019; Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

4.3.1.6.1 Evaluación de la colinealidad

La colinealidad múltiple o multicolinealidad es un tema de suma importancia en el análisis de ecuaciones estructurales por lo que se explica a mayor detalle en las siguientes secciones.

4.3.1.6.1.1 Concepto de la multicolinealidad

En un modelo de regresión lineal, cuando se adiciona una variable independiente para mejorar la predicción de una variable criterio, la capacidad para hacerlo está relacionada tanto con la correlación de la variable dependiente como con las correlaciones con las variables independientes ya existentes en la ecuación de regresión (Etxeberria, 2007; Hair Jr et al., 2007; Montgomery & Runger, 2003). Se conoce como colinealidad a la asociación entre dos variables independientes medida como una correlación, de manera que multicolinealidad es la correlación entre tres o más variables independiente, revelada cuando se calcula la regresión de una respecto a las demás (Hair Jr et al., 2007).

4.3.1.6.1.2 Impacto de la multicolinealidad

El impacto de la multicolinealidad se refleja en la disminución del poder de predicción de una variable independiente individual en relación con el grado de interrelación con las demás variables independientes (Hair Jr et al., 2007). A medida que se incrementa la colinealidad, se da una reducción en la varianza única explicada por cada variable independiente, mientras que aumenta el porcentaje de predicción compartida (Hair Jr et al., 2007). La multicolinealidad representa el nivel en el que cualquier efecto de una variable puede ser explicada por otras variables siendo analizadas, de manera que cuando aumenta la multicolinealidad disminuye la capacidad para definir el efecto de cualquier variable, siendo una razón de esto el que existan variables que no sean conceptualmente relevantes (Hair Jr et al., 2007). Uno de los efectos importantes de la colinealidad múltiple es en las estimaciones de los coeficientes de regresión y la aplicabilidad general del modelo estimado (Montgomery & Runger, 2003).

4.3.1.6.1.3 Estimación de la multicolinealidad

La multicolinealidad tiene como resultado porciones más grandes de varianza compartida y niveles más bajos de varianza única a partir de los cuales se puede determinar los efectos de las

variables independientes individuales (Hair Jr et al., 2007). En el siguiente ejemplo Hair et al. (2007) explican cómo realizar la estimación de la multicolinealidad: sean dos variables independientes X_1 y X_2 con una correlación de 0.60 y 0.50 respectivamente con una variable dependiente Y , entonces X_1 explicaría $0.6^2 = 0.36\%$ de la varianza de Y mientras que X_2 explicaría $0.50^2 = 0.25\%$. Si estas dos variables independientes no están correlacionadas entre sí no hay una contribución de su poder de predicción, la explicación de la varianza de la variable Y sería entonces $0.25 + 0.36 = 0.61\%$. Sin embargo, cuando aumenta la colinealidad, el poder predictivo conjunto de las variables independientes disminuye como consecuencia de la contribución en el poder de predicción. La distribución de la varianza explicada en un conjunto de variables independientes y dependiente se puede ver gráficamente en la figura 20.

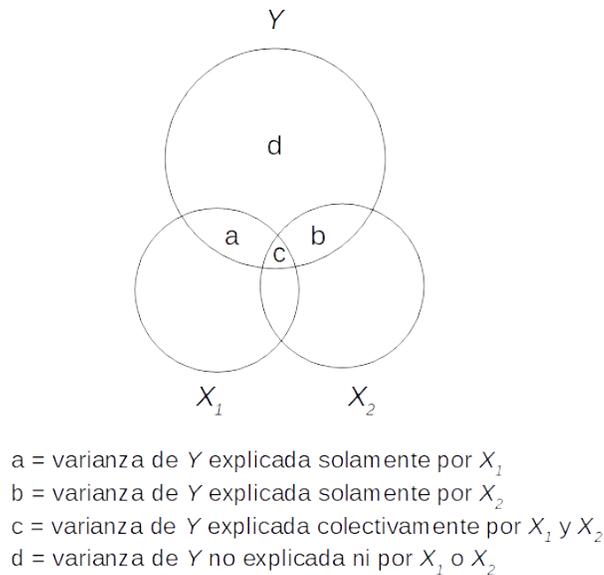


Figura 20. Varianza única y compartida de entre variables independientes correlacionadas
 Fuente: Elaborada en base a Hair Jr et al. (2007)

Sean las correlaciones entre dos variables independientes X_1 y X_2 con una variable dependiente Y las mostradas en la tabla 105.

Tabla 105. *Matriz de correlación de variables independientes e independiente*

	Y	X ₁	X ₂
Y	1.0		
X ₁	0.6	1.0	
X ₂	0.5	0.7	1.0

Fuente: Hair Jr et al. (2017).

La correlación semiparcial de X₁ e Y controlando X₂ ($r_{YX_1(X_2)}$) se puede calcular usando la fórmula:

$$r_{Y, X_1(X_2)} = \frac{r_{Y, X_1} - r_{Y, X_2} * r_{X_1, X_2}}{\sqrt{1 - r_{X_1, X_2}^2}}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$r_{Y, X_1(X_2)} = \frac{0.60 - 0.50 * 0.70}{\sqrt{1.0 - 0.70^2}} = 0.35$$

Por otro lado, la varianza única prevista por $X_1 = 0.35^2 = 0.1225$ y considerando que la correlación directa entre X_1 e Y es igual a 0.60, la varianza de total prevista de X_1 será igual a $0.60^2 = 0.36$, por lo que la varianza compartida se puede estimar como $0.36 - 0.1225 = 0.2375$. De forma similar se puede calcular la varianza única para X₂, usando la fórmula de arriba y sustituyendo valores obtenemos:

$$r_{Y, X_2(X_1)} = \frac{0.50 - 0.60 * 0.70}{\sqrt{1.0 - 0.70^2}} = 0.11$$

de aquí que la varianza única de X_2 será $0.11^2 = 0.0125$. Por lo tanto, la varianza total explicada por medio de las variables independientes es: varianza única explicada por $X_1 = 0.1225$; varianza única explicada por $X_2 = 0.0125$; varianza compartida explicada por X_1 y $X_2 = 0.2375$; y la varianza total explicada por X_1 y $X_2 = 0.3725$. Este cálculo de la varianza única y compartida muestra el efecto que ejerce la multicolinealidad sobre la habilidad de las variables independientes para pronosticar la variable dependiente. La figura 21 muestra los efectos de la multicolinealidad para diferentes valores de esta.

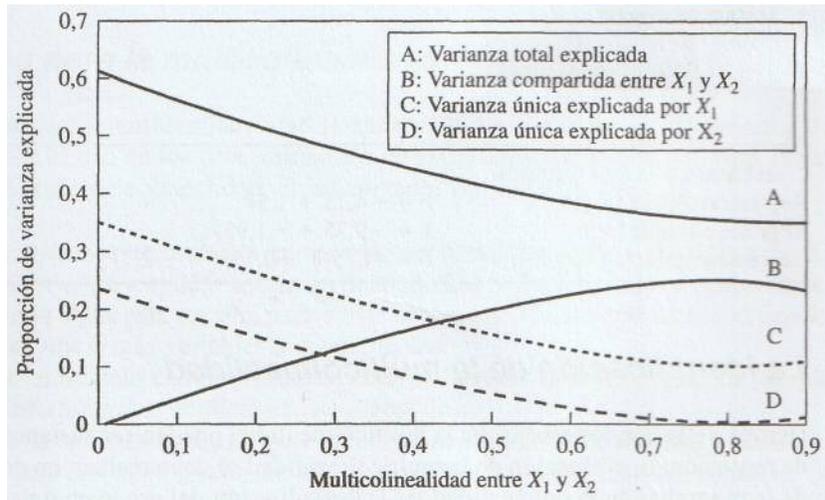


Figura 21. Proporciones de varianzas únicas y compartidas por niveles de multicolinealidad
Fuente: Hair Jr et al. (2007)

4.3.1.6.1.3 Identificación de la multicolinealidad

Las medidas más comunes para evaluar la multicolinealidad son (1) el valor de la tolerancia y (2) su inverso el factor de inflación de la varianza (FIV) (Hair Jr et al., 2007). El valor de la tolerancia es 1 menos la proporción de la varianza de la variable explicada por las otras variables independientes, es decir la tolerancia de $X_i = 1 - R_{1, \text{restodevariablas}}^2$ (Etxeberria, 2007; Hair Jr et al., 2007; Montgomery & Runger, 2003). Así que un elevado valor de la tolerancia significa que hay un valor bajo de colinealidad, y si el valor de la tolerancia está muy cerca de cero, quiere decir que la variable está casi totalmente contenida en las otras variables, de manera que un valor de tolerancia reducido y elevados valores de FIV, denotan una elevada multicolinealidad (Hair Jr et al., 2007).

Otra forma de entender el FIV es presentada por Montgomery & Runger (2003) con el siguiente ejemplo: los elementos de la diagonal de una matriz $C(X'X)^{-1}$ se puede escribir como;

$$C_{jj} = \frac{1}{(1 - R_j^2)} \text{ para } j = 1, 2, \dots, k$$

donde R_j^2 es el coeficiente de determinación múltiple resultante de la regresión de x_j con las $k-1$ variables regresoras restantes. Entre mayor sea la dependencia lineal de x_j con dichas variables, a mayor colinealidad, más grande será el valor de R_j^2 , siendo $V(\hat{\beta}_j) = \sigma^2 \cdot C_{jj}$, se dice que la

varianza de $\widehat{\beta}_j$ está “inflada” por la cantidad $(1 - R_j^2)^{-1}$, de manera que el factor de inflación de la varianza de $\widehat{\beta}_j$ se define como;

$$FIV = \frac{1}{(1 - R_j^2)} \text{ para } j = 1, 2, \dots, k$$

Si se fija un límite de tolerancia con un valor de 0.10, este corresponde a valores FIV superiores a 10, este límite corresponde a una correlación múltiple de 0.95; mientras que una correlación múltiple de 0.90 entre una variable independiente y las otras variables independientes, resultaría en un valor de tolerancia de 0.19; por lo que cualquier variable con un valor de tolerancia de 0.19 o con un valor FIV mayor de 5.3, estaría correlacionada en más de un 0.90 (Hair Jr et al., 2007).

4.3.1.6.1.4 Remedios para la multicolinealidad

Las opciones para remediar la colinealidad incluyen (Etxeberria, 2007; Hair Jr et al., 2007)

- Eliminar una o varias variables independientes correlacionadas mientras que se identifican otras variables independientes para sustituirlas, y/o que puedan ayudar con la predicción. Al hacerlo se debe tener cuidado, para evitar crear un error de especificación al eliminar variables independientes.
- Crear nuevas variables a partir de combinaciones lineales de las variables que estén altamente correlacionadas.
- Usar el modelo con las variables correlacionadas sólo para predecir no para interpretar los coeficientes de regresión.
- Utilizar las correlaciones simples entre cada variable independiente y cada variable dependiente para entender su relación.
- Usar un procedimiento jerárquico al incluir las variables en la ecuación: tomando en cuenta el aumento en el coeficiente de determinación; la tolerancia; y los coeficientes de correlación parcial y semiparcial.
- Usar métodos más avanzados de análisis como pueden ser: regresión bayesiana o regresión de tipo cresta; regresión de componentes principales que pueda obtener un

modelo que muestre de forma más clara los efectos simples de las variables independientes.

- Aumentar el tamaño de la muestra.

4.3.1.6.1.6 Evaluación de la multicolinealidad en el modelo estructural

En regresión OLS (*Ordinary Least Square*), la multicolinealidad se presenta cuando hay una alta correlación entre dos o más variables independientes, y causa que los errores estándares se inflen, que la prueba de significancia sea no confiable, y previene que se pueda evaluar la importancia relativa de una variable independiente comparada con otra (Garson, 2016). Una regla empírica establece que puede haber problemas de multicolinealidad cuando el FIV es mayor de 4 (algunos emplean el valor límite más condescendiente de 5) (Garson, 2016),

Para modelos reflectivos, la variable latente se modela como un estimador solitario de los valores de cada indicador, los cuales son las variables dependientes, por lo tanto, en estos modelos la multicolinealidad no es un problema, sin embargo, SmartPLS genera los valores FIV del modelo de medición, ya sea que el modelo sea reflectivo o formativo (Garson, 2016). Adicionalmente Rigdon (2016) aclara que los modelos con indicadores reflectivos usan pesos de correlación mientras que los modelos formativos usan pesos de regresión OLS, por lo que a diferencia de estos últimos los pesos de correlación ignoran la colinealidad entre los predictores, lo que significa que los usuarios de modelos reflectivos no deben de eliminar indicadores basados en signos impulsados por colinealidad y errores estándar inflados.

La multicolinealidad es de particular importancia cuando se trata de la estabilidad del indicador, ya que se espera que haya covarianza entre indicadores reflectivos, por lo que la multicolinealidad no representa un problema para este tipo de indicadores dado que se usan regresiones simples para la generación de las cargas de los indicadores (Hardin, Chang & Fuller, 2008). No obstante, para los indicadores formativos, debido a que el proceso de estimación se basa en la regresión múltiple, la multicolinealidad puede afectar de forma negativa la estabilidad de los coeficientes del indicador.

Otra forma de entender esta diferencia es partiendo de la figura 22, dónde se presentan ejemplos de los dos casos, la variable latente B tiene indicadores reflectivos, que hacen el rol de variable

“dependiente” cada uno de ellos para la variable “independiente” B. Por otro lado, la variable latente A tiene indicadores formativos, y tiene el rol de variable “dependiente”, los indicadores por su parte son las variables “independientes”. Para que exista colinealidad o multicolinealidad es requisito que haya dos o más variables independientes en la ecuación de regresión (Hair Jr et al., 2007; Montgomery & Runger, 2003).

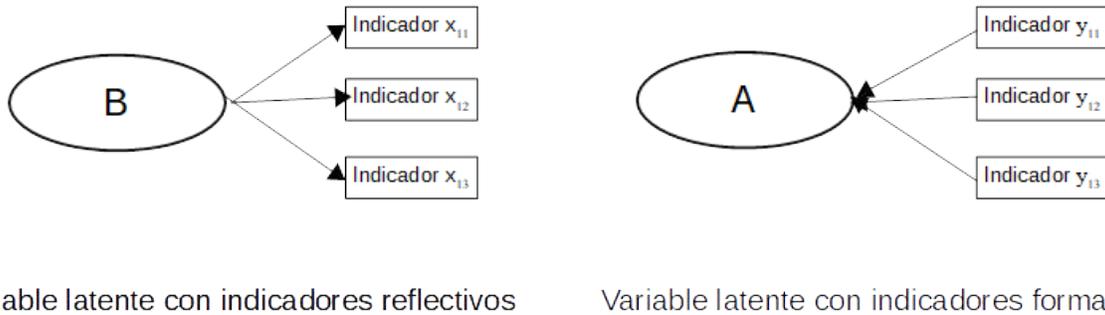


Figura 22. Diferencias entre variables latentes con indicadores reflectivos y formativos
Fuente: Elaboración propia.

Las asociaciones o correlaciones de los modelos se calcularían así:

Modelo B: $B=x_{11}$; $B=x_{12}$; $B=x_{13}$ y el Modelo A: $A=y_{11} + y_{12} + y_{13}$

Tanto en modelos reflectivos como formativos existe la posibilidad de que haya multicolinealidad en el modelo estructural, es decir que pueda existir colinealidad múltiple en las variables latentes que son modeladas como causas de una variable latente endógena, y lo es por las mismas razones que lo es para los modelos de regresión OLS (Garson, 2016). Cada juego de variables latentes exógenas en el modelo estructural se tiene que verificar por problemas de multicolinealidad para ver si se tiene que hacer un ajuste en las variables ya sea eliminar, juntar en una o desarrollar una variable latente de mayor orden (Wong, 2019). En un buen modelo los valores FIV no deben ser mayores de 4 o 5 si se prefiere el límite más liberal (Garson, 2016). Hair et al. (2019) por su parte indican que en el modelo estructural los niveles de FIV deben ser de 3 o menores ya que en valores FIV de 3 a 5 aún pueden ocurrir problemas de colinealidad.

La tabla 106 muestra los valores FIV para las variables latentes en el rol de predictores que son los constructos FCE y MM.

Tabla 106. *Valores FIV del modelo estructural*

Constructos predictores	Factor de Inflación de Varianza (FIV)
Factores Críticos de Éxito	1.625
Medición de la madurez	1.625

Fuente: Elaboración propia basado en Rashid, Hasanordin, & Ahmad (2016) con datos procesados en SmartPLS v3.

Como se puede observar el valor FIV de 1.625 es inferior al menor límite recomendado de 3. Como la colinealidad no representa un problema entre los constructos del modelo estructural, se siguen reportando los resultados del análisis.

Como se apuntó arriba, el software SmartPLS genera los índices FIV para ambos tipos de indicadores, por lo que reportarlos en su investigación en una decisión que cada investigador debe de tomar, sin embargo como señalaron Garson (2016), Rigdon (2016) y Hardin et al. (2008), no es necesario reportar los valores FIV de los indicadores en modelos reflectivos, solo en modelos formativos, sin embargo, sí se tiene que reportar en ambos modelos los valores FIV del modelo estructural.

4.3.1.6.2 Evaluación de la significancia y relevancia de las relaciones del modelo estructural

Se uso el proceso de bootstrapping para la estimación de la significancia de los coeficientes de ruta (*path*) del modelo. El bootstrapping es una técnica no paramétrica que prueba si las rutas entre variables son plausibles, evaluando la precisión de las estimaciones de PLS (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018). El bootstrapping genera submuestras que toma de la muestra original y proporciona el error estándar, posteriormente devuelve una aproximación de valores *t* para estimar la significancia de la ruta (*path*) estructural, el resultado se aproxima a la normalidad de los datos (Kwong & Wong, 2013). Los coeficientes de ruta (*path*) tienen valores estandarizados entre -1 a +1; donde valores cercanos a +1 indican una relación fuerte positiva, de la misma manera valores cercanos a -1 representan una relación fuerte negativa; mientras que valores cercanos a 0 son indicativos de una relación débil (Hair Jr et al., 2017). El error estándar del

bootstrapping permite el cálculo de los valores empíricos para t y p para todos los coeficientes de ruta (*path*) (Hair Jr et al., 2017). Cuando un valor empírico de t es mayor que el valor crítico, se puede concluir que los coeficientes son estadísticamente significativos con un valor de confianza que va de 1.65, 1.96 y 2.57 para valores de confianza de 10%, 5% y 1% para pruebas de dos colas; a 1.28, 1.65 y 2.33 para valores de confianza respectivos de 10%, 5% y 1% para pruebas de una cola (Hair Jr et al., 2017).

El bootstrapping genera coeficientes de ruta (*path*) que son coeficientes de regresión estandarizados, los cuales muestran el efecto directo de las variables independientes (exógenas) sobre una variable dependiente (endógena) en el modelo estructural propuesto (Levy, Varela & Abad, 2006). Para el algoritmo de bootstrapping se emplearon 92 registros, 38 de la evaluación piloto y 54 de la evaluación final. Los parámetros usados fueron los siguientes: submuestras 500; bootstrapping completo; método de intervalo de confianza *Bias-Corrected and Accelerated*; tipo de test dos colas; nivel de significación 0.05, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 107.

Tabla 107. *Resultados de la prueba de significancia de los coeficientes de ruta (path) del modelo estructural*

Relaciones hipotéticas	Coefficientes de ruta (<i>path</i>)	Estadístico t (bootstrapping)	Valor p	Intervalo de confianza al 95%	Significancia ($p < 0.05$)?
FCE → MM	0.620	11.635	0.000	(0.530 – 0.726)	Si
FCE → IMP	0.312	2.583	0.010	(0.073 – 0.554)	Si
MM → IMP	0.326	3.519	0.000	(0.153 – 0.506)	Si

Fuente: Elaboración propia basado en (Hair Jr et al., 2017) con datos procesados en SmartPLS v3.

La tabla 108 resumen los resultados de los efectos totales del constructo exógeno FCE con los constructos objetivos endógenos MM e IMP, todos los efectos son significativos para un nivel del 5%.

Tabla 108. *Resultados de la prueba de significancia de los efectos totales*

Relaciones hipotéticas	Efecto total	Estadístico <i>t</i>	Valor <i>p</i>	Intervalo de confianza al 95%	Significancia (<i>p</i> <0.05)
FCE → MM	0.620	11.635	0.000	(0.484 – 0.699)	Si
FCE → IMP	0.514	6.071	0.000	(0.329 – 0.658)	Si
MM → IMP	0.326	3.519	0.000	(0.166 – 0.515)	Si

Fuente: Elaboración propia basado en (Hair Jr et al., 2017) con datos procesados en SmartPLS v3.

Resumiendo, podemos mencionar que la relación entre los constructos FCE y madurez es alta (0.620); la relación entre los constructos FCE e impacto es moderada (0.312) y la relación ente los constructos madurez (MM) e impacto (IMP) es moderada (0.326) también. Las tres relaciones son estadísticamente significativas ya que el valor de *p* obtenido es menor de .05 para FCE e impacto y menor de .001 para FCE y madurez y madurez e impacto, por lo que se puede considerar que las tres hipótesis serán sostenidas (Martínez Ávila & Fierro Moreno, 2018).

4.3.1.6.3 Valoración del coeficiente de determinación R^2 (varianza explicada)

Dentro del SEM una variable latente exógena es aquella que afecta a otra variable latente y que no es afectada por ninguna otra, de manera que una variable latente endógena será aquella que sea afectada por otra variable independiente que afecte o no a otra (Caballero, 2006). El coeficiente de determinación R^2 es una medida del poder de predicción del modelo y representa los efectos combinados de las variables latentes exógenas sobre la variable latente endógena (Hair Jr et al., 2017). De la misma manera, el coeficiente de determinación R^2 indica que cantidad de varianza en los constructos endógenos es explicada por todos los constructos exógenos ligados a ellos (Hair Jr et al., 2017; Levy et al., 2006). El R^2 es obtenido como la correlación al cuadrado entre los valores actuales y estimados de un constructo endógeno específico (Hair Jr et al., 2017). Los criterios para el valor de R^2 en variables endógenas, se clasifican generalmente como sustancial, moderado o débil, pero los valores varían dependiendo del autor: Henseler et al. (2009) asignan valores de 0.67, 0.33 y 0.19; Chin (1998) 0.67, 0.33 y 0.10; mientras que Hair et al. (2017) 0.75, 0.50 y 0.25 respectivamente. Los coeficientes R^2 para cada una de las variables endógenas latentes se presentan en la tabla 109.

Tabla 109. *Evaluación de los coeficientes de determinación R^2*

Constructo endógeno	R^2	Estadístico t	Valor p
MM (Madurez)	0.385	5.746	0.000
IMP (Impacto)	0.330	3.943	0.000

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3.

Nota: Los valores son significativos para ($\alpha=.001$, $t>3.291$),

Medición del grado de preparación/madurez: La R^2 obtenida fue de 0.385 (moderada), lo que significa que las variables de factores críticos de éxito y medición de la madurez explican el 38.5% de la varianza de este constructo. En el caso de los coeficientes de ruta (*path*), el valor para los FCE fue (0.620), el cual es moderado alto (Chin, 1998; Johnson, Herrmann & Huber, 2006), no puede ser rechazado dado que es significativo por su valor t ($t = 11,635$, $\alpha = 0.001$). Por lo que se puede afirmar que los FCE se asocian estadística y significativamente con la medición de la madurez. Ante esta situación, se debe resaltar que el coeficiente obtenido apoya a la hipótesis establecida a priori (Henseler et al., 2009); específicamente se sustenta la hipótesis 1 (H1).

Impacto de la Industria 4.0: El coeficiente R^2 que se obtuvo fue de 0.330 (moderado), teniendo como significado que las variables FCE e impacto de la Industria 4.0 explican el 33.0% de la varianza de este constructo. En el caso de los coeficientes *path*, el coeficiente del FCE (0.312), el cual presenta un valor moderado (Chin, 1998; Johnson et al., 2006). Dicho coeficiente es significativo por su valor t ($t=2.583$, α de 0.05) por lo que no puede ser rechazado. Se puede afirmar que los FCE se asocian estadística y significativamente con el impacto de la Industria 4.0. De ahí que se afirme que el coeficiente descrito apoya a la hipótesis 2 (H2).

En ese mismo constructo, otra ruta *path* estructural es el de la medición de la madurez (0.326), se puede apreciar una asociación moderada con la variable latente de medición del grado de preparación/madurez: ($t=3.519$, $\alpha = 0.001$) al ser estadísticamente significativa (Cohen, 1992). Lo que provee una validación empírica parcial de la asociación teórica asumida entre las variables latentes dentro de las hipótesis (Henseler et al., 2009). Por lo que se concluye que la medición de

la madurez participa como una variable predictora al asociarse estadística y significativamente con el impacto de la Industria 4.0, brindando el soporte necesario para no rechazar a la hipótesis 3 (H3).

4.3.1.6.4 Valoración de los tamaños de los efectos (f^2)

Posteriormente, además de evaluar el valor de R^2 de todos los constructos endógenos, se sugiere evaluar el cambio en R^2 cuando un determinado constructo exógeno es omitido del modelo, es decir, el f^2 (Hair Jr et al., 2017). El f^2 se usa para medir qué tan cerca está la relación entre las variables exógenas no observadas y si el constructo omitido tiene un impacto sustantivo en los constructos endógenos (Hair Jr et al., 2017). Los valores para evaluar el f^2 son: 0.02 – efecto pequeño, 0.15 - efecto medio y 0.35 – efecto grande (Cohen, 2013; Pangesti, Sumertajaya & Sukmawati, 2016). Los valores de f^2 del modelo estructural se muestran en la tabla 110.

Tabla 110. *Evaluación de los efectos f^2*

Relaciones hipotéticas	f^2	Estadístico t	Valor p
FCE → MM	0.625	3.154	0.002
FCE → IMP	0.089	0.917	0.359
MM → IMP	0.097	1.652	0.099

Fuente: Elaboración propia basado con datos procesados en SmartPLS v3

Los efectos entre FCE y MM es grande y significativo ($\alpha=.05$), y pequeño entre FCE e IMP y MM e IMP, sin embargo, no es significativo para estas dos últimas.

4.3.1.6.5 Valoración de la relevancia predictiva valor Q^2

Además de evaluar el valor de R^2 como criterio de exactitud predictiva, se recomienda evaluar el criterio Stone-Geisser valor Q^2 (medida de redundancia de validez cruzada) (Hair Jr et al., 2017; Wong, 2019). Esta medición es una señal del poder predictivo “*out-of-sample*” del modelo o relevancia predictiva, que al aplicarse a un modelo de ruta PLS significa que predice con exactitud datos que no son usados en la estimación del modelo (Hair Jr et al., 2017). En el modelo estructural cuando Q^2 tiene valores mayores a cero para una variable latente endógena

reflectiva particular, significa que existe relevancia predictiva del modelo de ruta para un constructo dependiente específico (Garson, 2016; Hair Jr et al., 2017).

El valor Q^2 se calcula por medio en un procedimiento denominado *Blindfolding* para una distancia de omisión D que se debe de especificar (Hair Jr et al., 2017). El proceso de *blindfolding* es una técnica de re-uso de muestra que estima los parámetros del constructo endógeno al sustituir cada dato en la posición d -ava (Henselet et al., 2009). Los datos omitidos son tratados como valores perdidos, después los resultados estimados son usados para estimar estos datos omitidos, de manera que la diferencia entre los valores verdaderos y estimados es usada para calcular la medida de Q^2 (Garson, 2016; Hair Jr et al., 2017; Hair et al., 2019). El valor para la distancia de omisión D recomendado por Shmueli et al. (2019) es un valor de 10, pero este puede bien estar entre 5 y 10 (Apel & Wold, 1982; Hair et al., 2012). Estas opciones representan una omisión de 20% para el 5 y 10% para el 10, de los datos por cada corrida del algoritmo, este número también debe ser seleccionado procurando que la división de las observaciones del modelo entre la distancia D no sea un número entero, para evitar siempre borrar el mismo conjunto de observaciones de la matriz de datos en cada ronda (Hair Jr et al., 2017).

Se ejecutó el algoritmo *Blindfolding* con los siguientes parámetros: distancia de omisión $D = 10$; las opciones para el algoritmo de PLS-SEM se mantuvieron como en la corrida inicial. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 111.

Tabla 111. *Evaluación del valor Q^2*

Constructos endógenos	Valor Q^2
MM	0.206
IMP	0.210

Fuente: Elaboración propia con datos procesados en SmartPLS v3

El criterio de evaluación para el valor Q^2 es tal que, si este valor es mucho mayor que 0 el modelo tiene relevancia predictiva, y si el valor es 0 o menor carece de la misma (Hair Jr et al., 2017). Hair et al. (2019) van un paso más adelante en la definición de clasificación de este valor, al

establecer valores de 0, 0.25 y 0.50 como pequeño, medio y grande. De acuerdo con esta clasificación el modelo estructural presenta una relevancia predictiva media para ambos constructos endógenos MM e IMP.

4.3.1.6.6 Valoración del tamaño del efecto q^2

Los valores Q^2 son una medida de la capacidad del modelo de ruta para predecir los valores originalmente observados, y así como los efectos f^2 se utilizan para evaluar los valores de R^2 , el impacto relativo de la relevancia predictiva se puede comparar por medio de la medición del valor del efecto q^2 que se puede definir como:

$$q^2 = \frac{Q_{includido}^2 - Q_{excluido}^2}{1 - Q_{includido}^2}$$

de manera que valores de 0.02, 0.15 y 0.35 representan una relevancia predictiva de un constructo exógeno sobre un constructo endógeno de pequeña, media y grande respectivamente (Hair et al., 2017)

Sustituyendo valores el efecto q^2 se calcula como:

$$q_{MM \rightarrow IMP}^2 = \frac{0.210 - 0.206}{1 - 0.210} = 0.005$$

El valor del efecto q^2 se presenta en la tabla 112, donde los constructos endógenos están en la primera fila, mientras que los constructos predictores están en la primera columna. De acuerdo con los criterios recomendados, se considera un efecto pequeño.

Tabla 112. *Evaluación de los efectos q^2*

	MM	IMP
MM		0.005
IMP		

Fuente: Elaboración propia basado en (Hair Jr et al., 2017) con cálculos hechos en LibreOffice Calc v6.4

Finalmente, en la tabla 113 se hace un resumen de los indicadores para cada constructo del modelo de esta investigación.

Tabla 113. *Valores para el coeficiente R², relevancia predictiva Q², tamaño del efecto f² y tamaño del efecto (q²).*

Constructo	R ²	Q ²	f ²	Tamaño	q ²	Tamaño
FCE			0.625	Grande		
MM	0.385	0.206			.005	Pequeño
IMP	0.330	0.210				

Fuente: Elaboración propia basado en Rashid et al. (2016) con datos procesados en SmartPLS v3

El modelo SEM-PLS final se presenta en la figura 23. Podemos observar como los FCE y la medición de la madurez predicen de forma moderada, con un $R^2=330$, a el impacto de la Industria 4.0. Mientras que también de forma moderada, con un $R^2=385$, los FCE predicen la medición de la madurez.

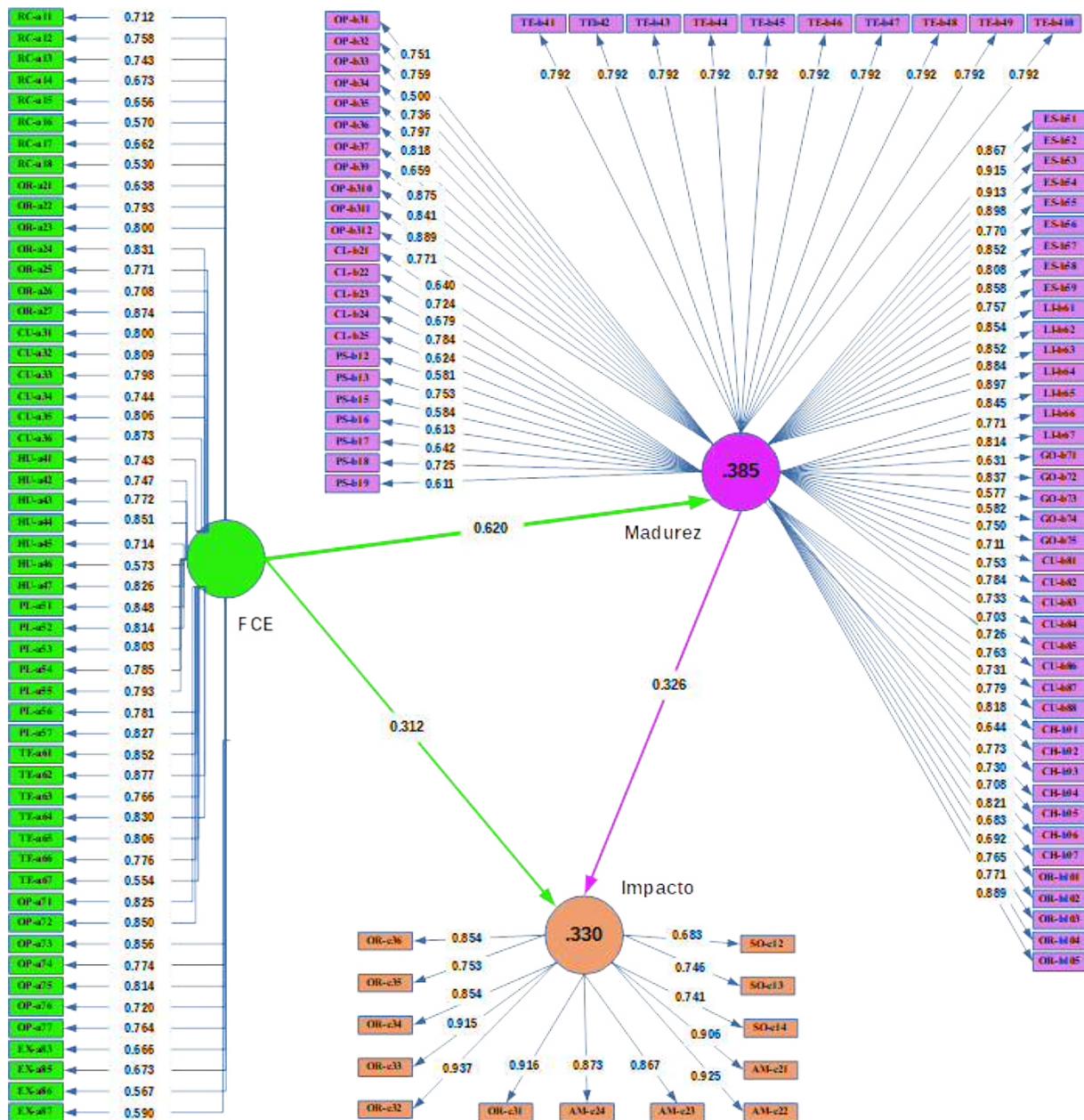


Figura 23, Modelo PLS-SEM final

Fuente: Elaboración propia basado en Galván (2019) con datos procesados en SmartPLS v3

Nota 1: Factores Críticos de Éxito: RC = relacionados al cliente, OR = organizacionales, CU = culturales; HU = humanos, PL = planeación, TE = tecnológicos, OP = operacionales EX = externos.

Nota 2: Categorías de medición de la madurez: PS = productos y servicios, CI = clientes, OP = operaciones, TE = tecnología, ES = estrategia, LI = liderazgo, GO = gobernanza, CU = cultura, CH = capital humano, y OR = organización.

Nota 3: Categorías de impacto: SO = social, AM = ambiental, OR = organizacional.

4.4 Contraste de Hipótesis

Las hipótesis de investigación para este trabajo son:

La Hipótesis general se plantea como:

HG: Existe una relación directa entre los factores críticos de éxito, el grado de preparación/madurez y el impacto en la evolución hacia Industria 4.0

4.4.1 Contrastación de las hipótesis del modelo SEM, H1 – H3

Las Hipótesis particulares relacionadas al modelo SEM son:

H1: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0.

H2: Existe una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la Industria 4.0.

H3: Existe una relación directa entre el grado de preparación/madurez con el impacto en la implementación a industria 4.0.

Los resultados de las hipótesis relacionadas al modelo SEM propuestas en la investigación se presentan en la Tabla 114. El nivel alcanzado de confianza alcanzado para las hipótesis H1 y H3 fue del 99.9%, mientras que para la hipótesis H2 fue del 95%.

Tabla 114. *Contrastación de las hipótesis del modelo SEM*

Hipótesis	Coefficiente de ruta (<i>path</i>)	Estadístico <i>t</i>	Resultado
H1: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0	0.620	11.635	No se rechaza
H2: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la industria 4.0.	0.312	2.583	No se rechaza
H3: Existe una relación directa entre el grado de	0.326	3.519	No se rechaza

preparación/madurez con el impacto de la Industria 4.0.

Fuente: Elaboración propia basada en Galván (2019) con datos procesados en SmartPLS v3,

Con base al análisis estadístico desarrollado y presentado en los apartados anteriores, se pueden validar las tres hipótesis relacionadas al modelo SEM que fueron propuestas, alcanzándose un nivel de significancia mínimo de 95%, de manera que podemos resumir:

1. Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0, y la influencia va de los FCE a la medición de la madurez.
2. Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la industria 4.0, y la influencia va de los FCE a el impacto de la Industria 4.0.
3. Existe una relación directa entre el grado de preparación/madurez con el impacto de la Industria 4.0, y la influencia va del grado de preparación/madurez a el impacto de la Industria 4.0.

4.4.1 Contrastación de las hipótesis restantes, H4 – H6

H4: Se puede determinar el grado de preparación/madurez como industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California.

Esta hipótesis se pudo confirmar ya que se estimó un nivel de madurez de la industria electrónica de Baja California intermedio (nivel 4 con, 285 puntos o 57%); y de forma individual Ensenada en un nivel intermedio también (nivel 4, 279 puntos, 57%); mientras que Tijuana (313 puntos, 71%) y Tecate (337 puntos, 71%) en el nivel 5 convertido.

H5: Se puede determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California para evolucionar a la Industria 4.0.

De acuerdo con los resultados de la encuesta se puede considerar que los factores críticos de éxito propuestos son efectivamente factores que determinarían favorablemente el éxito en la transición hacia Industria 4.0. Los factores relacionados al cliente fueron considerados favorablemente en un 48% (sumando las respuestas 5, 6 y 7) contra un 34% (sumando las respuestas 1, 2 y 3); los factores organizacionales fueron favorecidos con un 58% contra un 19% que no. Los resultados de los demás factores fueron culturales 60% contra un 18%; humanos con un 71% contra un 17%; tecnológicos con un 60% contra 28%; operacionales un 57% contra un 28%; y externos con un 60% contra un 7%. El único factor que no fue considerado un factor de éxito fue el de planeación, que no fue considerado por un 42% contra un 44%. La hipótesis de confirmó solo se tendría que ajustar los factores.

Como consecuencia el modelo propuesto de 8 factores críticos de éxito quedaría solamente con siete factores, sin el factor de planeación, como se muestra en el modelo conceptual Ex-Post, ver figura 24. Este modelo se tiene que considerar junto con el modelo SEM para futuras investigaciones y validar los resultados de esta hipótesis.

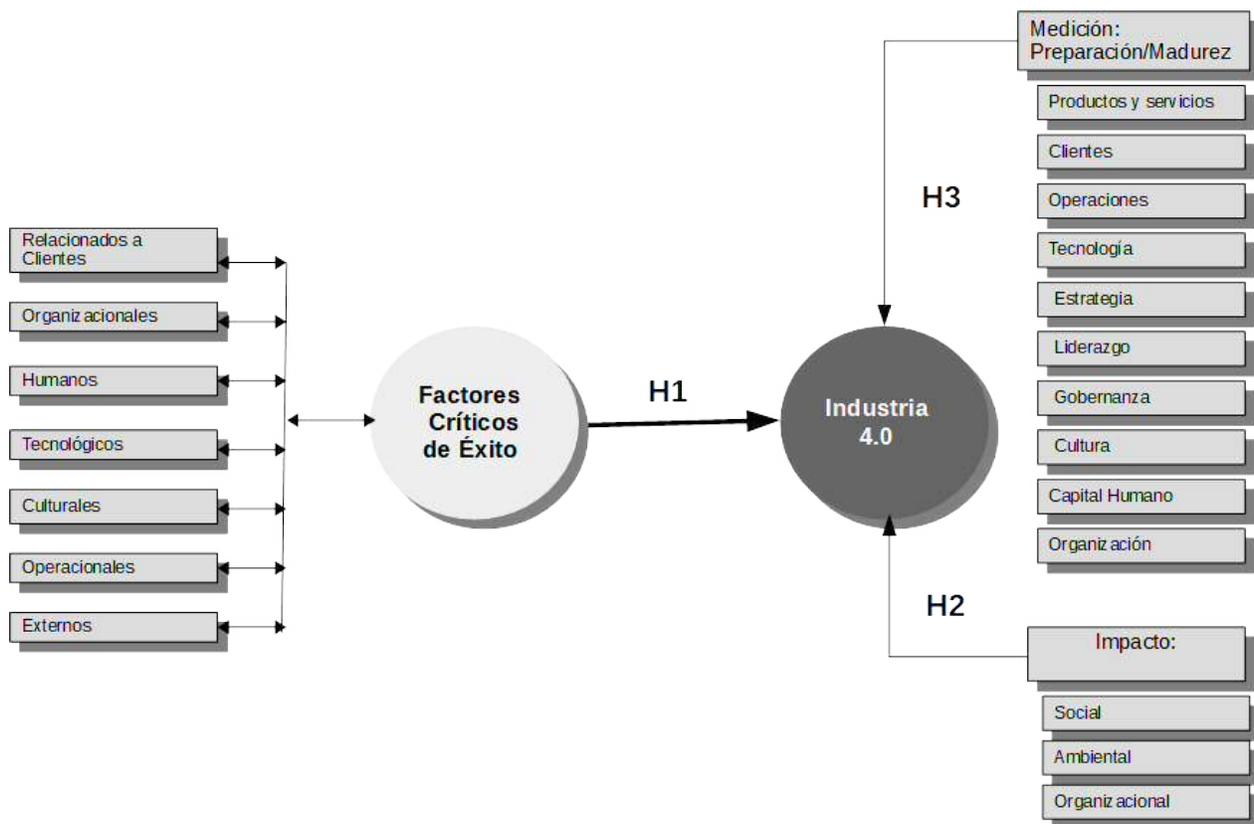


Figura 24, Modelo conceptual Ex-Post.

Fuente: Elaboración propia

H6: La Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C.

De los resultados de la encuesta podemos observar que la Industria 4.0 tendrá un impacto en las tres categorías estudiadas en esta investigación. La categoría social obtuvo un cerrado margen de 41% de si al impacto (sumando las respuestas 5, 6 y 7) contra un 39% de no (sumando las respuestas 1, 2 y 3), mientras que para la categoría ambiental fue un 51% contra un 41% y para la categoría organizacional fue de un 48% contra un 35%. Esta hipótesis se confirmó.

Capítulo V Discusión

En este capítulo se presenta la discusión de la evidencia del estudio en relación con la práctica actual. Para facilitar la presentación la discusión se hace por objetivos. Es importante mencionar que el tema cuarta revolución industrial o Industria 4.0 está en pleno desarrollo, pero siendo de reciente arranque el número de investigaciones que aporten datos empíricos es muy limitado, especialmente en los temas de este estudio.

5.1 Discusión de los objetivos.

Para dar un orden lógico el marco de la contrastación se construye a partir de los objetivos e hipótesis establecidos en la tesis, en tal sentido es pertinente ilustrar el alcance de cada objetivo e hipótesis para luego incorporar la argumentación.

5.1.1 Discusión del objetivo 1, FCE versus el grado de preparación/madurez.

Objetivo 1. Analizar la relación de los factores críticos de éxito con el grado de preparación o madurez para la Industria 4.0.

La hipótesis planteada para este objetivo fue:

H1: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0

El análisis de las ecuaciones estructurales determinó de manera estadísticamente significativa una relación entre estos dos constructos, de forma más detallada en el análisis inferencial se confirmó que los factores organizacionales, culturales, factores humanos, planeación, tecnológicos y operacionales presentaron relaciones con todas las categorías de la medición de madurez. Mientras que no fue así para los factores relacionados a los clientes ni los factores externos.

Se comprobó una relación entre los factores relacionados a los clientes y las categorías de medición de madurez: clientes, operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo, gobernanza, capital humano, organizacional y cultural. Sin embargo, no se encontró una relación con la categoría de productos y servicios. Esta última falta de relación no es lo que se esperaba, ya que los clientes son los que compran los productos o usan los servicios.

Por último, para los factores externos se comprobó una relación con la categoría de tecnología, categoría de operaciones, clientes, estrategia, liderazgo, gobernanza, cultura, capital humano y organización. Pero no se encontró relación con la categoría de productos y servicios, esto podría indicar que los factores externos no influyen a los productos y servicios, cuando menos las partes que se exploraron con los ítems usados.

También se pudo observar que los factores críticos de éxito que tienen una mayor relación con categorías de medición de madurez fueron: factores tecnológicos con ocho, factores de planeación con siete y factores culturales con seis. En el otro extremo están los que menos relaciones presentaron, con dos cada uno están los factores organizacionales, operacionales y externos. En el caso de categorías de medición, la que presentó una mayor cantidad de relaciones fue clientes con ocho, es decir mostró relaciones con todos los factores críticos de éxito.

Cabe destacar que, respecto a la literatura revisada, ningún estudio relacionó los FCE con la medición de la madurez en Industria 4.0. Sin embargo, Yeh & Chen (2018) estudiaron los factores críticos de éxito para la adopción de la impresión 3D. Para estos autores la exitosa implementación de la impresión 3D, depende de cuatro factores en orden de importancia: costo, ambiente, tecnología y organización. Esto tiene sentido para la adopción de una sola tecnología del ámbito de la Industria 4.0, pero cuando se trata de analizar todos o cuando menos la mayoría de los elementos que la componen, resultan muy limitados ya que, aunque el costo que se incluye como parte de los factores de planeación, el ambiente que se incluye dentro de los factores externos, la tecnología en los factores tecnológicos, y organización en los factores organizacionales, no son suficientes. Para un análisis más integral de la implementación u adopción para ponerla en términos similares, haría falta considerar otros factores como los incluidos en esta investigación: relacionados al cliente, culturales, humanos y operacionales.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo, la hipótesis se comprobó con algunas relaciones que requieren una mayor investigación.

5.1.2 Discusión del objetivo 2, FCE versus impacto de la Industria 4.0

Objetivo 2. Analizar la relación entre los factores críticos de éxito con el impacto de la Industria 4.0.

La hipótesis planteada para este objetivo fue:

H2: Hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la industria 4.0.

El análisis de las ecuaciones estructurales al igual que con la hipótesis H1, encontró de forma estadísticamente significativa una relación entre estos dos constructos. Por medio del análisis inferencial los factores relacionados con el cliente presentaron una relación moderadamente baja con el impacto social, el impacto ambiental y el impacto organizacional. Para los factores organizacionales la relación fue moderadamente alta con el impacto social, pero moderadamente baja con el impacto ambiental, pero no tuvo relación con el impacto organizacional. Los factores culturales mostraron una relación moderadamente alta con el impacto social, moderadamente baja con el impacto ambiental pero no mostró relación con el impacto organizacional. Por su parte los factores humanos mostraron una relación moderadamente alta con el impacto social, moderadamente baja con el impacto ambiental, pero no mostró una relación con el impacto organizacional.

Los factores de planeación mostraron relación moderadamente alta con el impacto social, moderadamente bajo tanto para el impacto ambiental como para el impacto organizacional. Para los factores tecnológicos la relación fue moderadamente alta con el impacto social y moderadamente baja con el impacto ambiental, sin embargo, no mostró relación con el impacto organizacional. En cuanto a los factores operacionales, estos mostraron una relación moderadamente alta con el impacto social, moderadamente baja con el impacto ambiental, y una relación moderada baja con el impacto social. Por último, los factores externos no mostraron ninguna relación con las categorías de impacto.

En la literatura revisada, ningún estudio relacionó los FCE con el impacto de la Industria 4.0. Por lo que los resultados de este estudio son una contribución científica al área de estudio de Industria 4.0.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo, la hipótesis se comprobó de forma parcial con algunas relaciones que requieren una mayor investigación.

5.1.3 Discusión del objetivo 3, grado de preparación/madurez versus impacto de la Industria 4.0

Objetivo 3. Analizar la relación entre el grado de preparación o madurez con el impacto de la Industria 4.0.

Hipótesis planteada para este objetivo

H3: Existe una relación directa entre el grado de preparación/madurez con el impacto de la Industria 4.0.

Para esta hipótesis se pudo comprobar por medio del análisis de las ecuaciones estructurales una relación entre estos dos constructos estadísticamente significativa. El análisis inferencial permitió establecer que el impacto social mostró relaciones positivas altas con las categorías de operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo, gobernanza, capital humano y organización. Relaciones positivamente bajas con las categorías de productos y servicios, y clientes. Y moderadamente baja con la categoría cultural.

Mientras que el impacto ambiental mostró una relación moderadamente alta con las categorías de productos y servicios, operaciones, gobernanza y organización, Una relación moderadamente baja las categorías de estrategia, capital humano, clientes, tecnología, liderazgo y cultura.

Por último, el impacto organizacional presento una relación moderadamente alta con las categorías de operaciones, estrategia, gobernanza, capital humano y organización. Moderadamente baja, con productos y servicios, tecnología, liderazgo y cultura. Mientras que no se encontró una relación con la categoría clientes.

Para este caso tampoco se encontró en la literatura revisada, ningún estudio que relacionara la medición de la madurez en Industria 4.0 con el impacto de esta. Por lo que los resultados de este estudio son también una contribución científica al área de estudio de Industria 4.0.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo, la hipótesis se comprobó de forma parcial con algunas relaciones que requieren una mayor investigación.

5.1.4 Discusión del objetivo 4, nivel de preparación/madurez de la industria electrónica de B.C. como Industria 4.0

Objetivo 4. Determinar el grado de preparación o madurez como Industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California.

Hipótesis planteada para este objetivo

H4: Se puede determinar el grado de preparación/madurez como industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California.

5.1.4.1 Discusión del objetivo 4: Medición de la madurez

La medición de la madurez en la Industria 4.0 ha sido abordado de diferente manera por los investigadores dependiendo de su interés, preparación y/o recursos. Algunos intentaron hacer un modelo general en cuanto al alcance y sin aplicación específica como el Modelo de Madurez de Industria 4.0 (Industry 4.0-MM) desarrollado por Gökalp et al (2017), el modelo de Kermer-Meyer (2017), el Modelo de Madurez para la Digitalización de Klötzer & Pflaum (2017). Otros los desarrollaron de forma general pero con una aplicación específica: orientada a ambientes de manufactura como el Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital desarrollado por De Carolis et al., (2017), el modelo de madurez Schumacher et al. (2016), y el Modelo IMPULS de preparación para Industria 4.0 de Lichtblau et al. (2014); aplicado a Internet de las cosas (IoT) fueron el modelo de Jæger & Halse (2017) y el Modelo de Preparación de Adopción en Manufactura de Soldatos et al. (2016); orientado a redes de cadenas de suministros es el modelo de Reder & Klünder (2017) basado en el modelo SCOR; orientado a PyMEs es el modelo Ganzarain & Errasti (2016); a tecnologías de la información el Modelo de Madurez de Integración de Sistemas en Industria 4.0 (SIMMI) de Leyh et al. (2016); aplicado a modelos de negocios el modelo de Pérez-Lara et al. (2016).

Aunque el modelo desarrollado en este estudio tomó elementos de los modelos anteriores, no se consideraron lo suficientemente completos respecto al alcance y aplicación juzgado a través de las dimensiones evaluadas. Solo el estudio de Schumacher et al. (2016), que cubre las siguientes

dimensiones: productos, clientes, operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo, sistema de gobierno, cultura, y gente, se consideró casi completo. En la dimensión de producto se observó que faltan los servicios, puesto que en la cuarta revolución industrial los servicios estarán cada vez más basados o impulsados por datos (Rojko, 2017; Lichtblau et al., 2014), por lo tanto, la dimensión producto se convirtió en productos y servicios. En el caso de la dimensión gente, este término se considera limitado, ya que aunque Gracel & Lebkowsky (2017) también midieron la dimensión gente; Klötzer & Pflaum (2017) midieron la cooperación y competencias de las perspectivas de realización del producto; Kopp & Basl (2017) y Lichtblau et al. (2014) midieron la dimensión empleados, Rojko (2017) midió la dimensión recursos humanos; Reder & Klünder (2017) midieron el tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional; Schagerl et al., midieron la transformación digital del personal (capacidad y disposición), así que se necesitó un término que pudiera englobar todas estas perspectivas, por lo que esta dimensión se convirtió de gente a capital humano. Por otro lado, se consideró que la organización también es una dimensión que medir en un modelo de madurez (De Carolis et al., 2017; Jæger & Halse, 2017; Klötzer & Pflaum, 2017).

De manera que las siguientes dimensiones presentadas en el modelo de este estudio: productos y servicios, clientes, operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo, sistema de gobierno, cultura, capital humano y organización, comprenden de una manera más integral las áreas funcionales de una empresa.

5.1.4.2 Discusión del objetivo 4: Niveles de madurez

No todos los modelos revisados usan niveles para medir la madurez, y en algunos casos los niveles son considerados etapas dentro de la maduración hacia la Industria 4.0. Reder & Klünder (2017) y Pérez-Lara et al. (2016) utilizan 4 niveles; De Carolis et al. (2017), Gracel & Lebkowsky (2017), Kermer-Meyer (2017), Klötzer & Pflaum (2017), Rojko (2017), Ganzarain & Errasti (2016), Leyh et al. (2016) y Schumacher et al. (2016) utilizan 5 niveles; Gökalp et al. (2017), Kopp & Basl (2017) y Lichtblau et al. (2014) usan 6 niveles; y Jæger & Halse (2017) utiliza 8 niveles.

Los diferentes niveles están relacionados principalmente al enfoque utilizado, para este estudio se decidió por conveniencia en el análisis estadístico utilizar una medición del 1 al 7, por lo tanto, los niveles de este estudio se fijaron en 7 niveles con las etapas correspondientes por nivel como se describe a continuación: 1. Foráneo, 2. Neófito, 3. Novato, 4. Intermedio, 5. Convertido, 6. Competente y 7 Madurez 4.0. Comparativamente en un estudio no incluido en esta investigación, Mittal, Khan, Romero, & Wuest (2018) enfatizaron que el nivel inicial debe ser 0, sin embargo, aun cuando su estudio está enfocado a PyMEs, la mayoría de las empresas difícilmente partirían de cero, ya que la cuarta revolución industrial, como las tres anteriores revoluciones partieron de la revolución inmediatamente anterior (Kagermann et al., 2013; Neugebauer et al., 2016; SENTRYO, 2017). Por ejemplo, una empresa tiene cuando menos un sistema básico de TI (una computadora, tableta o teléfono inteligente). Mittal et al., no fueron los únicos que consideraron el nivel inicial como cero, de los estudios incluidos Kopp & Basl (2017) y Lichtblau et al. (2014) también los hicieron, mientras que la mayoría partió del nivel uno. En el caso de Kopp & Basl, el nivel 0 fue para las empresas que en la encuesta contestaron no tener interés en la conversión a Industria 4.0, sin embargo, si se evaluarán esas empresas con el instrumento de este estudio, es muy probable que se encontrará que realmente su nivel es diferente a cero, ya que, aunque no tengan planes concretos o interés para convertirse a Industria 4.0, contarían con elementos introducidos por la tercera revolución,

5.1.4.3 Discusión del objetivo 4: Resultados de la medición de madurez

En cuanto a la medición de la madurez los participantes del estudio, en su mayoría, ubicaron a las empresas en un nivel 1 a la categoría de tecnología, en un nivel 2 a las categorías de liderazgo y organización, en un nivel 3 para la categoría de productos y servicios, en un nivel 5 a la categoría de operaciones, en un nivel 6 a las categorías de clientes, estrategia, sistema de gobierno y cultura. Para la categoría de estrategia se dividieron en los niveles 2, 3, 4, y 6. Ninguna categoría fue ubicada en el nivel máximo de 7.

De manera agregada el nivel de madurez de Baja California (285 puntos) se ubicó en el nivel 4 Intermedio, mientras que de forma individual Ensenada (279 puntos) en el nivel 4 Intermedio, Tijuana (313 puntos) y Tecate (337 puntos) en el nivel 5 convertido.

Comparativamente Kopp & Basl (2017) estudiaron el grado de preparación hacia la Industria 4.0 en 197 compañías de la república Checa. Encontraron que un 77.16% de las empresas estuvieron en un nivel 0, 14.72% estaban en el nivel 1, 4.06% en el nivel 2, 3.05% en el nivel 3 y 1.02% en el nivel 4. Ninguna empresa alcanzó el nivel 5.

De estos dos estudios se puede observar que el nivel de preparación es mayor en Baja California que en la república Checa, sin embargo, existe más de un año de diferencia, y en términos de adopción de tecnología eso pudo haber hecho la diferencia.

Otra forma diferente de medir el grado de preparación la realizó Berger (2014), quien propuso el índice de preparación Industria 4.0 (RB Industry 4.0 Readiness Index) el cual es calculado como sigue: agruparon la sofisticación de procesos de producción, grado de automatización, grado de preparación de la fuerza laboral e intensidad de la innovación en una categoría que denominaron “excelencia industrial”. Después combinaron valor agregado alto, la apertura de la industria, la red de innovación y la sofisticación de Internet en una categoría que denominaron "red de valor". Cada categoría fue medida en una escala de 5, con un cinco indicando que el país estaba preparado de forma excelente para el panorama de la Industria 4.0. La combinación de las dos categorías determina la posición del país en el índice RB Industry 4.0 Readiness. La gráfica se construye usando este índice en el eje vertical y el índice del % del PIB en el eje horizontal. En el cuadrante 1 se encuentran los países denominados “delanteros” (Front-runners: Alemania, Austria, Irlanda y Suecia), en el cuadrante 2 los “potenciales” (Potentialist: Bélgica, Dinamarca, Francia, Países Bajos y R.U.), en los cuadrantes 3-4 los “vaciladores” (Hesitators: Bulgaria, Croacia, Estonia, Italia, Polonia, Portugal y España), en el cuadrante 4 los “tradicionalistas” (Traditionalists: República Checa, Eslovaquia, Eslovenia, Hungría y Lituania). Finlandia con una posición de (4.8, 3) no quedó agrupada en ninguna categoría. Como se puede observar este índice del grado de preparación no puede ser aplicado de forma práctica a nivel empresa por lo que una comparación con los resultados obtenidos de B.C. no es posible.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo y la hipótesis se comprobó.

5.1.5 Discusión del objetivo 5, FCE de la industria electrónica de B.C. para evolucionar como Industria 4.0

Objetivo 5. Determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia la Industria 4.0.

Hipótesis planteada para este objetivo

H5: Se puede determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia la Industria 4.0.

El número de factores críticos de éxito planteados está en línea con lo definido por BusinessDictionary.com (SF), que nos dice que los factores críticos de éxito son un número de 3 a 8 características, condiciones o variables que impactan directamente a la efectividad, eficiencia y viabilidad de las empresas. También se plantearon en concordancia con Holotiuk & Beimborn (2017), es específico, que son críticos para el éxito de la empresa, sin embargo, no le darán una ventaja competitiva a esta.

Dentro de la literatura revisada solo se encontraron dos estudios de factores críticos de éxito en el contexto de Industria 4.0. Holotiuk, & Beimborn (2017) estudiaron los FCE para una estrategia digital y establecieron 8 categorías: Ventas y experiencia del cliente, organización, cultura y liderazgo, capacidades y competencias de recursos humanos, previsión y visión, datos y tecnologías de la Información, operaciones, socios. Por su parte Shinohara et al. (2017) los FCE para la implementación de la manufactura digital estableciendo cuatro categorías: técnicos, organizacionales, gestión de proyecto, y externos. De estos dos estudios el más completo fue el de Holotiuk, & Beimborn (2017) ya que las categorías incluidas abarcan suficientes aspectos a considerar para el éxito de una empresa en el contexto de la Industria 4.0. Sin embargo, algunas categorías eran muy limitadas por lo que se buscó una denominación más general.

Por ejemplo, Jäger et al (2016) encontraron que las demandas del cliente era un factor de éxito y Bettenhausen (2014) que los usuarios convencidos lo son. Por lo tanto, la categoría ventas y experiencia del cliente se convirtió en factores relacionados al cliente ya que es más inclusivo. La categoría organización es un término adecuado ya que inclusive Shinohara et al (2017) también lo incluyó en su estudio por lo que se convirtió en factores organizacionales. La dimensión cultura y liderazgo se consideró un poco disperso por lo que se acotó a factores culturales, dentro de esta categoría se consideró potencial innovador de Semotic & Steyin (2017). Las capacidades y

competencias de recursos humanos se redujeron a factores humanos para incluir también a las capacidades y educación de la fuerza de trabajo identificados por Hofman & Rüscher (2017); habilidades de los empleados de Jäger et al (2016); habilidades de la gente de Gabriel & Pessl (2016); conocimiento experto, flexibilidad, creatividad, innovación de Buhr (2015); calificación de Bettenhausen (2014) y habilidades técnicas y competencias interdisciplinarias de Dworschak & Zaiser (2014)

Factores de planeación se consideró más representativa que la categoría de previsión y visión, y que se puede incluir gestión de proyecto de Shinohara et al (2017), proyectos colaborativos y gestión concomitante de proyectos de Semotic & Steyin (2017), modelo de negocios de Jäger et al (2016) y Kim and Kim (2016), adaptación por imitación de Jäger et al. (2016), innovación acelerada y desarrollo de campeones futuros de Berger (2014), y velocidad de implantación de Bettenhausen (2014),

De la misma forma factores tecnológicos es más incluyente que Datos y TI ya que abarca la categoría técnicos de Shinohara et al (2017) así como: disponibilidad de tecnología y grado de digitación de Hofmann & Rüscher (2017), seguridad o protección de datos (security) de Wessels (2017), seguridad IT, nuevas tecnologías, arquitectura modular, calidad de los datos de Jäger et al. (2016), concreción de valor efectivo de sistemas ciber-físicos Herterich et al. (2015),

Los factores operacionales por su parte es adecuado para la categoriza operaciones, ya que puede incluir a: mejoras de recursos operacionales de Semotic & Steyin (2017); seguridad funcional de la maquinaria (safety) de Wessels (2017); infraestructura de Jäger et al. (2016) y Bettenhausen (2014); convergencia de la producción, la interacción, el trabajo y la comunicación de Buhr (2015); innovación, automatización, procesos sofisticados, una infraestructura digital integral a prueba de fallas de Berger (2014).

Por último, la categoría externos también es adecuada por lo que se denominó factores externos e incluye: la categoría socios de Shinohara et al (2017); externos de Semolic & Steyn (2017); organizaciones virtuales de socios especializados innovadores, vibrantes, flexibles de alto rendimiento de Jäger et al. (2016); certeza legal, nuevos competidores de Berger (2014); servicios

digitales (subcontratados) de alta calidad y establecer un entorno digital dinámico de Bettenhausen (2014)

Resultados del estudio en B.C.

Respecto a la opinión de los participantes, estos parecen confirmar como factores críticos de éxito a los relacionados el cliente, organizacionales, culturales, tecnológicos, operacionales y externos, mientras que para los factores de planeación se inclinaron ligeramente por no considerarlos factores críticos de éxito.

Ninguno de los estudios de FCE en el contexto de Industria 4.0 Holotiuk, & Beimborn (2017), o Shinohara et al. (2017), reportaron resultados de sus estudios, por lo que. Por lo que los resultados de este estudio son también una contribución científica al área de estudio de Industria 4.0.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo, la hipótesis se comprobó de forma parcial.

5.1.6 Discusión del objetivo 6, Impacto de la Industria 4.0 en la industria electrónica de B.C.

Objetivo 6. Determinar si la Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C.

Hipótesis planteada para este objetivo

H6: La Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C.

La categoría de impacto organizacional esta soportado por Strange & Zucchella (2017) que aseveran que el continuo uso de las tecnologías de la Industria 4.0 tiene el potencial de transformar la organización y localización de la producción manufacturera mundial. Mientras que la categoría social esta fundamenta en Caro (2017) que estima que la cuarta revolución industrial va a reducir el número de empleos no calificados y va a aumentar el número de empleos especializados y en Háy (2016) que nos dice que la Industria 4.0 y las tecnologías inteligentes son capaces de aumentar las tasas de producción a pesar de la disminución de las poblaciones.

Por último, la categoría medioambiental se soporta en Szalavetz (2017) que realizó un estudio en Hungría y encontró que el uso de algunas herramientas de la Industria 4.0, que denominó tecnologías de manufactura avanzada, mostró un impacto positivo en desempeño medioambiental en el campo de la gestión de calidad, optimización de proceso, e ingeniería de proceso y producto. Considerando las aportaciones de estos autores se consideró que es la Industria 4.0 tendrá un impacto en el medio ambiente.

Resultados del estudio en B.C.

La mayoría de los participantes expresó estar de acuerdo respecto a los ítems del impacto social, ambiental y organizacional con un nivel 6, para las tres categorías. De forma agregada también la mayoría expreso estar de acuerdo con las tres categorías.

Para el impacto de la Industria 4.0 tampoco se encontraron resultados empíricos en la bibliografía realizada. Por lo que los resultados de este estudio son también una contribución científica al área de estudio de Industria 4.0.

Resumen del objetivo: Se cumplió el objetivo y la hipótesis se comprobó.

Capítulo VI Conclusiones

Para concluir la tesis, este capítulo presenta las conclusiones de la investigación, así como las contribuciones tanto a la teoría como a la práctica. El capítulo resalta las limitaciones de la investigación y presenta áreas futuras de investigación.

La cuarta revolución industrial, que tuvo el banderazo de salida en la feria de Hannover Messe del 2011, y que en realidad se ha venido gestando desde tiempo atrás, no solo desde el año 2006 cuando el gobierno Alemán lanzó el "Plan de Acción Estrategia de Alta Tecnología 2020", de donde surgió concretamente la iniciativa Industria 4.0, sino desde que se empezaron a desarrollar tecnologías que habilitaron estos cambios, como la sustitución del protocolo de Internet de IPv4, el cual posibilita 4,294,967,296 (2^{32}) direcciones de Internet, por el protocolo IPv6 (creado alrededor de 1994), que posibilita 3.4×10^{38} o 340 sextillones de direcciones (2^{128}), la impresión 3D (1976), la inteligencia artificial (1956), la realidad aumentada (1992) y otras. Pero la cuarta revolución no se limita al uso de tecnología emergentes, si bien es cierto que la interconectividad es el centro de ella, sino a un nuevo paradigma que traerá como consecuencia nuevas formas de trabajo en muchas áreas especialmente en las empresas de manufactura. Esencialmente lo que busca el gobierno alemán y otros países de los considerados de salarios altos, es recuperar competitividad contra países de salarios bajos, al manufacturar productos en su territorio y detener la migración de la manufactura hacia esos países.

La cuarta revolución ya está en marcha y los beneficios estimados aún están por demostrarse, sin embargo, el cambio está sucediendo, ya no hay marcha atrás, y los países o empresas que no se incorporen a las cadenas de valor digitalizadas modernas no formarán más parte de estas. Realizar los cambios necesarios para digitalizar las empresas y por lo tanto incorporarse a la Industria 4.0 no les dará una ventaja competitiva, sin embargo, no hacerlo casi garantiza el eventual fracaso de las empresas, especialmente aquellas que están inmersas en cadenas de valor altamente competitivas y que están a la vanguardia de los avances tecnológicos, o que tiene una alta presión de mantener costos bajos.

Respecto a nivel país, aquellos que en el futuro mediano no implementen políticas públicas y/o que no apoyen iniciativas de Industria 4.0 dejarán de participar en el ámbito manufacturero mundial con sus respectivas consecuencias para el desarrollo económico de estos. Si bien es cierto que un país puede encontrar su vocación en esferas diferentes a la manufactura, como el turismo, e inclusive en actividades económicas tradicionales como la agricultura, ganadería o la extracción de recursos naturales, perderán el beneficio de implementar tecnologías como IoT, Big Data, realidad aumentada y otras, ya que la cuarta revolución industrial afectará a toda la sociedad, trayendo no solo cambios tecnológicos sino cambios económicos y sociales como ha sucedido con las anteriores revoluciones.

El objetivo general de esta investigación era determinar si los factores críticos de éxito se relacionan con el grado de preparación o madurez, y con el impacto social, medioambiental y organizacional de la Industria 4.0, y con objetivos particulares entre otros de conocer estos temas en el caso particular de Baja California.

La investigación identificó factores críticos de éxito para la transición como Industria 4.0, un modelo para la medición del grado de preparación o madurez, y categorías en las cuales la Industria 4.0 tendrá un impacto. Los principales hallazgos de esta investigación son:

- Primero, los factores críticos de éxito, el modelo de medición de madurez y las categorías del impacto de la Industria 4.0 han sido conceptualizados de la literatura y validados por medio de la investigación empírica.
- Segundo, se conceptualizó un modelo de ruta (path) de primer orden, que se validó por medio de PLS-SEM teniendo como constructos exógenos a los FCE y como constructos endógenos a la medición de la madurez e impacto de la Industria 4.0
- Tercero, se identificaron siete factores críticos de éxito que pueden contribuir a la exitosa transición como Industria 4.0.
- Cuarto, se identificó un modelo de medición de la madurez como Industria 4.0, de diez categorías con las cuales se puede medir el grado de madurez de una empresa y que también sirven de guía para alcanzar la madurez total.
- Quinto, se identificaron tres categorías de impacto de la Industria 4.0, para que las empresas puedan estar prevenidas.

- Sexto, la validación de las relaciones entre FCE, medición de la madurez e impacto de la Industria 4.0 han contribuido a la teoría.
- Séptimo, la investigación ha sido capaz de identificar implicaciones para la práctica de la transición a la Industria 4.0.

6.1 Contribuciones a la teoría

Cuatro contribuciones principales pueden derivarse de los hallazgos de esta investigación. El primero es la identificación de los factores críticos de éxito (FCE) para la transición como industria 4.0; el segundo es el modelo de medición del grado de preparación/madurez como Industria 4.0; el tercero es la identificación de categorías del impacto de la implementación de la Industria 4.0; el cuarto es el modelo de ruta (*path*) conformado por los tres anteriores constructos FCE, medición de la madurez e impacto de la Industria 4.0. Otras contribuciones que se pueden sustraer de los hallazgos son: La confirmación de la relación entre los FCE y el grado de madurez para Industria 4.0; la confirmación de la relación entre los FCE con el impacto de la Industria 4.0; y la confirmación de la relación entre el grado de madurez como Industria 4.0 y el impacto de esta. En primer lugar, ninguna investigación ha identificado categorías de FCE aplicados a la transición como Industria 4.0, solo Holotiuk, & Beimborn identificaron FCE de la Estrategia Digital de Negocios y Shinohara et al., determinaron FCE para la implementación de la manufactura digital. De la misma manera ningún estudio anterior había identificado un modelo de medición de la madurez como Industria 4.0 con diez categorías, el más cercano fue el de Schumacher et al., con nueve categorías. Tampoco ningún estudio ha analizado el impacto de la implementación de la Industria 4.0 en las tres categorías confirmadas en esta investigación. Por último, ningún estudio ha planteado un modelo de ruta (*path*) que relacione a los FCE, la medición de la madurez e impacto de la industria 4.0.

Antes de describir a detalle las contribuciones derivadas de los hallazgos, es importante mencionar que dos contribuciones adicionales de esta investigación son las definiciones de factores críticos de éxito en la sección 2.3.2 y de Industria 4.0 incluida en la sección 2.3.5.

6.1.1 Modelo de ruta (*path*) de primer orden

Se conceptualizó un modelo de ruta (path) de primer orden con los factores críticos de éxito (FCE) como variable latente exógena con 53 indicadores reflectivos; la medición de la madurez (MM) como variable latente endógena con 74 indicadores reflectivos; e impacto de la Industria 4.0 (IMP) con 13 indicadores. Este modelo se validó por medio del método ecuaciones estructurales PLS-SEM y demostró tener: en su modelo de medición reflectivo, fiabilidad de consistencia interna, validez convergente y divergente; y en un modelo estructural sin problemas de colinealidad, coeficientes de ruta de moderados a altos, coeficientes de determinación (R^2) moderados y relevancia predictiva (Q^2) media.

6.1.2 Confirmación de los FCE

La identificación de los FCE para la transición como Industria 4.0 se discutió a profundidad en el capítulo 2. La literatura existente es hasta cierto punto limitada, por lo novel del tema y porque al no haber muchas empresas con niveles avanzados como Industria 4.0 no se han realizado muchos estudios empíricos. Poco a poco se incorporan estudios conforme crece el interés en investigaciones del área. Estos nuevos hallazgos pueden enriquecer, fortalecer, o cuestionar los factores de éxito encontrados en este estudio.

La hipótesis (H5) planteada de que se puede determinar los factores críticos de éxito de la industria electrónica de Baja California para evolucionar hacia la Industria 4.0, fue confirmada para siete de las ocho categorías propuestas. La investigación contribuye a un entendimiento más profundo de los FCE para la transición como industria 4.0.

Tres son las contribuciones a la teoría relacionados a los FCE: El primero es la definición de los factores críticos de éxito para Industria 4.0 presentada en la sección 2.3.2 ; el segundo es la escala de medición “Factores críticos de éxito (FCE) para la evolución a Industria 4.0, 8FCE-I40”: y el tercero que cada factor de éxito ofrece una serie de áreas a las que se debe prestar atención al momento de diseñar un plan de transición exitosa hacia Industria 4.0. Siendo estas áreas:

Factores relacionados al cliente

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de ocho elementos relacionados con los productos y servicios ofertados al cliente.

1. Realizar análisis sistemático (analytics) para personalizar productos.
1. Realizar análisis sistemático (analytics) para personalizar servicios.
2. Realizar análisis sistemático (analytics) para crear productos.
3. Realizar Análisis sistemático (analytics) para crear servicios.
4. Tener canales de comunicación con el cliente sin conexión (físicos) y en línea (digitales) integrados perfectamente.
5. Interactuar con el cliente a través de realidad aumentada.
6. Interactuar con el cliente a través de viajes digitales de decisión.
7. Interactuar con el cliente a través de tecnologías enfocadas en él.

Factores organizacionales

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de siete elementos relacionados con los diferentes aspectos de la organización dentro de la empresa.

1. Los diferentes departamentos deben de utilizar medios digitales en sus labores.
1. La administración se debe de enfocar en lograr cambios radicales.
2. La administración se debe de enfocar en lograr cambios rápidos.
3. Buscar tener una organización de varios niveles para reaccionar de una forma más rápida.
4. Buscar tener una organización que funciona a distintas velocidades para una reacción más oportuna.
5. Buscar tener una organización con una orientación a largo plazo, pero un sprint (corto e intenso) para cambiar.
6. Buscar tener una organización que pueda dar una respuesta rápida a los desarrollos tecnológicos del mercado.

Factores culturales

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de seis elementos relacionados con los diferentes aspectos culturales dentro de la empresa.

1. Tener un compromiso con la transformación de estrategia de acuerdo con cambios de mercados, tendencias globales, etc.
1. Tener un compromiso con la transformación de la cultura.
2. Contar con un conjunto común de valores entre los que destaca la creación digital.

3. Promover una mentalidad digital por medio de una agenda orientada a lo digital.
4. Tener una cultura capaz de adaptarse a objetivos evolutivos.
5. Tener una cultura impulsada por la innovación

Factores humanos

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de siete elementos relacionados con el capital humano.

1. Que los empleados tengan competencias interdisciplinarias.
1. Que los empleados tengan habilidades de conocimiento experto, creatividad e innovación.
2. Que los empleados sean flexibles (capaces de adaptarse a diferentes circunstancias).
3. Que los empleados tengan capacidad para desarrollar habilidades diferentes a tecnologías de la información como la visión, la colaboración y la gestión del cambio organizacional.
4. Que los empleados tengan habilidades digitales (capacidad para usar medios electrónicos).
5. Que los empleados tengan habilidades técnicas (operación y/o mantenimiento de maquinaria).
6. Qué Los mandos directivos tengan capacidad para diseñar nuevos modelos de negocios.

Factores tecnológicos

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de siete elementos relacionados con los diferentes aspectos de la tecnología.

1. Contar con una arquitectura del sistema de información que admite datos de Internet de las cosas (IoT).
1. Tener capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y con ello toma decisiones.
2. Contar con nuevas tecnologías (por ejemplo: sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes o robots autónomos).
3. Poder procesar datos en tiempo real.
4. Tener una seguridad (security) cibernética de las Tecnologías de la Información.
5. Contar con soporte técnico para herramientas de manufactura digital.
6. Gestionar los datos desde una fuente (servidor) central.

Factores operacionales

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de siete elementos relacionados con los diferentes aspectos operacionales de la empresa.

1. Tener capacidad de realizar automatización.
1. Poder mezclar los recursos humanos y digitales.
2. Cambiar sus modelos de negocios y también los modelos operativos.
3. Tener procesos basados en datos.
4. Tener capacidad para un proceso automatizado digital.
5. Tener seguridad funcional de su maquinaria (safety).
6. Tener una infraestructura digital integral a prueba de fallas.

Factores externos

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de cuatro elementos externos que afectan a la empresa.

1. Capacidad para establecer un entorno digital dinámico.
2. Que los proveedores externos tengan capacidad de integrarse con la empresa.
3. Que estén disponibles servicios digitales de alta calidad que la empresa pueda subcontratar.
4. Socios externos con conocimiento y experiencia en Industria 4.0.

6.1.3 Confirmación de categorías de la medición del nivel de madurez como Industria 4.0

La deducción del modelo de medición del nivel de madurez se presentó también en el capítulo 2. La literatura existente revisada arrojó 17 modelos, y aunque había otros modelos, no se consideraron por ser de empresas consultoras y carecer de un fundamento científico. Se han seguido presentando modelos posteriores, que permitirán comparar si se hacen estudios empíricos, con los hallazgos de esta investigación.

La hipótesis (H4) planteada de que se puede determinar el grado de preparación/madurez como industria 4.0 de la industria electrónica de Baja California, fue confirmada encontrándose que la industria electrónica en la entidad se ubica en un nivel intermedio en el camino hacia la Industria 4.0. La investigación contribuye con un modelo de medición del nivel de madurez como

industria 4.0, que ha sido probado de manera empírica en la industria electrónica de Baja California.

Las contribuciones a la teoría relacionados a la medición de la madurez son: la escala de medición “Medición del grado de preparación/madurez para evolucionar a Industria 4.0, MM-I40.”: y el modelo de medición de la madurez con diez categorías. Este modelo es un punto de partida para la lograr una madurez total como Industria 4.0. Cada categoría de medición ofrece una serie de áreas a las que se debe prestar atención al momento de diseñar un plan de transición hacia Industria 4.0, y estas con:

1. Categoría productos y servicios

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas al grado de incorporación de sistemas ciberfísicos, IoT y/o en el diseño de los productos y/o servicios, así como a la personalización y digitalización productos y/o servicios, concretamente:

1. Digitalizar los productos o algún subproducto.
2. Integrar los productos con otros sistemas ofrecidos a los clientes.
3. Ofrecer productos con servicios de software incrustados.
4. Ofrecer productos con sistemas embebidos.
5. Ofrecer productos con interfaces abiertas.
6. Ofrecer productos inteligentes embebidos en una infraestructura de Big Data.
7. Ofrece productos con tecnología bluetooth o Wi-Fi.

2. Categoría clientes

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a la utilización los de datos de los clientes, la digitalización de ventas y servicios, y otros ofrecimientos digitales, como:

1. Utilizar los datos de los clientes para incorporarlos a la toma de decisiones.
1. Digitalizar la información de las ventas.
2. Digitalizar la información asociada a los servicios que presta.
3. Desarrollar competencia de medios digitales (uso de dispositivos móviles, aplicaciones en la nube) del cliente para la mejora de productos y o servicios.

4. Ofrecer a los clientes servicios basados en Big Data “datos como servicio”

3. Categoría operaciones

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas al uso de modelado y simulación, colaboración interdepartamental, uso de Internet en el piso de producción y otras técnicas avanzadas de manufactura en la producción y diseño de productos y/o servicios, concretamente:

1. Utilizar sensores en las líneas de producción.
1. Utilizar robots o cobots (robots colaborativos) en las líneas de producción.
2. Usar manufactura aditiva (impresión 3D).
3. Realizar simulación del proceso de producción.
4. Utilizar sistemas ciber-físicos (CPS) para la manufactura de los productos.
5. Utilizar materiales inteligentes para la manufactura de los productos.
6. Utilizar vehículos autónomos en las líneas de producción.
7. Realizar la transformación del proceso de planeación a Industria 4.0.
8. Realizar la transformación del proceso de adquisición a Industria 4.0.
9. Realizar la transformación del proceso de producción a Industria 4.0.
10. Aumentar la automatización de la fábrica.

4. Categoría tecnología

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a modernizar y tener seguridad en el sistema de tecnología de la información y comunicación, hacer uso de dispositivos móviles y de otras tecnologías avanzadas, como:

1. Conectar sensores a la red de datos.
1. Usar dispositivos móviles para la manufactura del producto.
2. Usar comunicación máquina a máquina.
3. Usar realidad aumentada en producción.
4. Usa realidad virtual en producción.
5. Utilizar dispositivos IoT (Internet de las cosas) para aplicaciones de manufactura virtual.
6. Utilizar dispositivos IoT (Internet de las cosas) para automatización de la fábrica.
7. Utilizar herramientas (como Hadoop) para big data.

8. Utilizar inteligencia artificial para el análisis de datos (analytics).
9. Utiliza semántica para el análisis de datos (semantics analytics).

5. Categoría estrategia

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a disponer de una hoja de ruta para Industria 4.0, adaptar modelos de negocio exitosos en otras industrias, y también a:

1. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para transformación a Industria 4.0.
1. Destinar recursos para lograr su transformación a Industria 4.0.
2. Adaptar los modelos de negocios para ser Industria 4.0.
3. Emplear los nuevos modelos de negocios.
4. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para productos y/o,
5. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para productos inteligentes y/o,
6. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para servicios inteligentes y/o,
7. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para sistemas de servicio y/o,
8. Usar una hoja de ruta de implementación (roadmap) para ser una empresa conducida por datos.

6. Categoría liderazgo

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a contar con un liderazgo comprometido con el cambio de paradigma, habilidades y competencias de gestión, concretamente que:

1. Los líderes (alta gerencia, gerente general) utilicen una estrategia de digitalización.
1. Los líderes tengan voluntad de cambio hacia Industria 4.0.
2. Los líderes desarrollen competencias y métodos de gestión para Industria 4.0.
3. Los líderes adapten los modelos de negocios para ser una empresa Industria 4.0.
4. Los líderes promuevan el uso de la gestión del conocimiento.
5. Que la empresa permita el desarrollo de liderazgo en todos los niveles para posicionar a la empresa en el grupo élite I4.0.
6. Mida el nivel de desarrollo de competencias de liderazgo según objetivos y hojas de ruta.

7. Categoría sistema de gobierno (gobernanza):

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a regulaciones laborales para Industria 4.0, como protección de propiedad intelectual, y, además.

1. Tener normas y políticas laborales para el contexto de Industria 4.0.
1. Respetar las normas laborales del contexto de Industria 4.0.
2. Respetar la propiedad intelectual.
3. Promover la protección de la propiedad intelectual.
4. Promover en la región normas tecnológicas idóneas acorde a I4.0.

8. Categoría cultura:

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a contar con intercambio de conocimiento, innovación abierta y otras características culturales, como:

1. Realizar intercambio de conocimiento.
1. Contar con innovación abierta con empresas proveedores.
2. Contar con innovación abierta con empresas clientes.
3. Tener colaboración con empresas proveedores.
4. Tener colaboración con empresas clientes.
5. Valorar el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC).
6. Tener una cultura organizacional abierta a la innovación.
7. Tener una cultura organizacional caracterizada por una apertura para las tecnologías digitales.

9. Categoría capital humano

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a que se cuente con competencias y habilidades del personal y a una apertura del personal a nuevas tecnologías, concretamente.

1. Los empleados deben de tener competencias en tecnologías de información y comunicación (TIC), que soportan la Industria 4.0.
1. Los empleados deben de tener apertura a nuevas tecnologías (sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes, robots autónomos, etc.)
2. Los empleados deben de tener autonomía para la ejecución de sus labores.

3. Los empleados deben de tener competencias tecnológicas (sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes, robots autónomos, etc.).
4. Los empleados deben de estar empoderados para realizar su trabajo.
5. En la empresa debe de medir la satisfacción de los empleados.
6. Los empleados deben de estar listos para operar en un esquema Industria 4.0.

10. Categoría organización:

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación de áreas relacionadas a tienen que las empresas están diseñadas para evaluar la alineación organizacional para la adopción de I4.0, como:

1. Tener estructuras organizacionales para operar los procesos en un contexto de I4.0.
1. Tener estructuras organizacionales para gestionar los procesos en un contexto de I4.0.
2. Realizar la gestión a través de una estructura organizativa.
3. Realizar la gestión a través de la estrategia del negocio.
4. Transformar su estructura para operar como Industria 4.0

6.1.4 Confirmación de categorías del impacto en la implementación como Industria 4.0

La obtención de las categorías que impactaran a las empresas se presentó como los dos temas anteriores en el capítulo 2. La literatura existente no exploró aún el impacto de la industria 4.0, principalmente porque había muy pocas empresas que hayan trascendido como Industria 4.0, solo el estudio de Szalavetz (2017) exploró la parte medioambiental en la empresa. Conforme más compañías se incorporen como Industria 4.0, surgirán más estudios que evalúen el impacto de la I4.0, en las tres categorías presentadas y otras que sean convenientes de explorar.

La hipótesis (H6) planteada de que la Industria 4.0 tendrá un impacto social, medioambiental y organizacional en la industria electrónica de B.C., fue confirmada por lo que las categorías propuestas son el punto de partida para la evaluación del impacto conforme las empresas vayan madurando en la Industria 4.0.

Las contribuciones a la teoría relacionados al impacto de la Industria 4.0 son: la escala de medición “Impacto de la Industria 4.0. IMP-I40”; y las categorías de impacto social, ambiental y organizacional. Cada categoría contribuye a la teoría en las siguientes áreas:

1. Categoría Social

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación en el aspecto social o de capital humano de áreas donde se sentirá el impacto como:

1. Incremento en el número de empleos especializados (realizando tareas creativas e innovadoras).
2. La instrumentación las políticas públicas adecuadas a corto, mediano y largo plazo para Industria 4.0
3. Aumento de sus tasas de producción a pesar de la disminución en la plantilla laboral.

2. Categoría ambiental

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación en el medio ambiente de áreas donde se verá reflejado el impacto como:

1. Un impacto en el desempeño medioambiental en la gestión de la calidad.
1. Tenga un impacto en el desempeño medioambiental en la optimización de proceso.
2. Tenga un impacto en el desempeño medioambiental en ingeniería de proceso.
3. Tenga un Impacto en el desempeño medioambiental del producto (materiales y su disposición final).

3. Categoría Organizacional

El estudio ha contribuido con la identificación y confirmación en la organización de áreas donde se sentirá el impacto, específicamente que:

1. Modifique la naturaleza de la competencia.
1. Tenga un impacto en las estrategias corporativas.
2. Cause una transformación de la organización.
3. Modifique la localización de la producción manufacturera mundial.
4. Borre la distinción entre productos y servicios.
5. Genere un surgimiento de modelos de negocios nuevos.

6.1.5 Validación de la relación de los FCE con el nivel de preparación/madurez

Por medio de esta investigación ha sido posible validar la relación existente entre los FCE y el nivel de madurez como Industria 4.0. La hipótesis (H1) planteada de que hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el grado de preparación/madurez para la industria 4.0, fue confirmada por medio del análisis de modelo de ecuaciones estructurales de forma estadísticamente significativa. Los resultados obtenidos en este estudio son una contribución a la teoría.

6.1.6 Validación de la relación de los FCE con el impacto de la Industria 4.0

Por medio de esta investigación ha sido posible validar la relación existente entre los FCE y el impacto de la Industria 4.0. La hipótesis (H2) de que hay una relación directa entre los factores críticos de éxito y el impacto de la industria 4.0, también fue confirmada por medio del análisis de modelo de ecuaciones estructurales de forma estadísticamente significativa. Los resultados aportados por este estudio también son una contribución a la teoría.

6.1.7 Validación de la relación del nivel de preparación/madurez y el impacto de la Industria 4.0

Por medio de esta investigación ha sido posible validar la relación existente entre el nivel de preparación/madurez y el impacto de la Industria 4.0. La hipótesis (H3) de que existe una relación directa entre el grado de preparación/madurez con el impacto de la Industria 4.0 también fue confirmada por medio del análisis de modelo de ecuaciones estructurales de forma estadísticamente significativa. Los resultados aportados por este estudio también son una contribución a la teoría.

6.2 Contribuciones a la práctica

6.2.1 Factores críticos de éxito

En la actualidad no existe una lista de FCE que puedan ser aplicados universalmente, ni la lista identificada en esta investigación pretende serlo, sin embargo, es una guía inicial para que, a partir de esta, se pueda personalizar para cada empresa en particular. Lo más importante es que las empresas estén conscientes que tiene que identificar aquellos elementos que hagan la diferencia entre tener éxito o fallar en el proceso de la transición hacia Industria 4.0. La lista de factores críticos de éxito incluidas en las escalas de medición 8FCE-I40 puede ser utilizada como lista de verificación y es por lo tanto una contribución a la práctica.

6.2.2 Medición del nivel de madurez como Industria 4.0

Representando la transición hacia la Industria 4.0 una necesidad manifiesta para la supervivencia futura de las empresas, ¿cómo pueden estas saber si están preparadas o no para incorporarse a esta cuarta revolución?, un diagnóstico de su estado como Industria 4.0 ciertamente resulta imprescindible. El modelo de medición de la madurez presentado en la figura 2 es un modelo que las empresas pueden utilizar para realizar la transición hacia Industria 4.0. Básicamente lo que tendrían que hacer es: primero en base a la evaluación del nivel de madurez, utilizando el modelo de medición del nivel de madurez desarrollado en esta investigación, entender las ideas de Industria 4.0 y definir su visión de esta; enseguida desarrollar un modelo de negocios y una hoja de ruta para Industria 4.0; finalmente preparar el cambio hacia Industria 4.0 transformando estrategias en proyectos.

Como alternativa al modelo de medición de madurez desarrollado en esta investigación, las empresas y otros practicantes pueden desarrollar su propio modelo siguiendo los pasos definidos en la figura 3, etapas para la construcción del modelo de madurez: definir niveles de madurez, definir dimensiones, escoger método de aplicación y escoger un método de representación. El modelo de medición del nivel de madurez, las etapas de construcción del modelo de madurez, los niveles de medición de la madurez de la tabla 28 y el uso de la escala MM-i40 como lista de verificación son aportaciones a la práctica.

6.2.3 Impacto de la Industria 4.0

Encontrándose la cuarta revolución industrial en los albores de su desarrollo, y como se ha señalado anteriormente los efectos de esta aún no se pueden observar plenamente, es importante contar con un antecedente, las empresas pueden utilizar el instrumento IMP-40 como una lista de verificación para estar mejor preparadas con los cambios representados por la Industria 4.0, independientemente o no si estás interesadas en convertirse a esta. El uso del instrumento como lista de verificación es una contribución a la práctica.

6.3 Limitaciones encontradas

Siendo la Industria 4.0 un tema reciente, representa varios retos al investigador: no solo no hay muchas investigaciones empíricas contra que comparar los resultados obtenidos, sino tampoco

existe mucho respaldo para la formulación de hipótesis e instrumentos de medición que sirvan de base para elaborar los propios instrumentos o usar para realizar la validación del instrumento utilizado. Todas estas limitaciones se tuvieron que sortear para llevar a cabo esta investigación, sin embargo, estas no fueron las principales barreras que se encontraron.

Dos fueron las limitaciones principales, la primera tiene que ver con lo reciente del tema Industria 4.0, ya que a pesar de que se ha visto una mayor difusión de los temas diversos que comprende este constructo, e inclusive se han organizado eventos locales y nacionales del tema, este aún no ha permeado en las partes interesadas (stakeholders), ya que por un lado, quizás piensen que es un tema temporal, una moda pasajera, el sabor del mes (flavor of the month) en la cultura anglosajona o de plano a una falta de visión de los directivos que no han visto lo importante que es el tema y que en realidad el cambio ya está sucediendo, y el que no se incorpore ahora, no formará parte de las cadenas de valor del futuro inmediato. Esto afectó principalmente el interés por el llenado del cuestionario en línea ya que de 321 personas que accedieron a la encuesta solo 43 la contestaron.

La otra limitación tiene que ver con la dificultad de obtener respuesta de la población de interés, a pesar de facilitar el llenado del cuestionario al hacerlo en línea, esto también representó una gran desventaja ya que no había forma de asegurarse de que, por un lado, los sujetos de estudio realmente recibieran el acceso a ella, y por otro no sentían ninguna obligación. Inclusive a pesar de ofrecer un valor agregado por el llenado del cuestionario, al ofrecer un diagnóstico personalizado sin cargo para la empresa, no se vio mucho interés. Esto fue advertido por una persona dedicada a hacer encuestas especialmente en la industria electrónica. Inicialmente esta empresa cotizó realizar la encuesta por un precio de \$12,500 como precio especial sobre cuatro veces esa cantidad, sin embargo, no se comprometió a ningún nivel de respuesta porque “dado que se trata de un instrumento de levantamiento demasiado extenso y de que el argumento de solicitud de participación es académico, lo que suele resultar poco atractivo a la industria”. Otra instancia en que se percibió poco interés de la industria fue en una reunión de presentación de resultados de un estudio que estaba realizando CANIETI, a la cual solo asistieron alrededor de 12 representantes únicamente.

Otro factor que pudo haber influido en la cantidad limitada de respuestas es la longitud misma del cuestionario, a pesar de que su llenado era ágil, ya que solo toma un promedio de 15 minutos, para responder las 138 preguntas. Inclusive puede ser debido a la aversión casi natural que se tiene a llenar encuestas.

Una alternativa para mejorar los resultados de esta investigación es hacer el estudio en una población más grande, ya sea como parte de un programa estratégico del gobierno en Baja California, o extenderlo por ejemplo a la región norte del país o inclusive de forma nacional.

6.4 Recomendaciones para futuras investigaciones

La recomendación más inmediata es expandir el modelo de ruta (*path*) de primer orden a uno de los denominados de orden más alto (*higher order*) o modelos de componentes jerárquicos (*hierarchical component models, HCMs*), para poder realizar un nivel de abstracción más alto de los constructos. En el modelo evaluado en esta investigación por ejemplo el constructo factores críticos de éxito se evaluó inicialmente con 56 indicadores, sin embargo, estos indicadores pertenecen a ocho categorías de factores. Un modelo HCM permitirá conocer una relación más detallada sobre qué factores presentan una mayor relación con otras variables latentes, o cuales son más relevantes.

En la figura 25 se muestra una parte del modelo de ruta (*path*) de esta investigación de tipo primer orden y como podría ser uno del mismo constructo, pero de segundo orden.

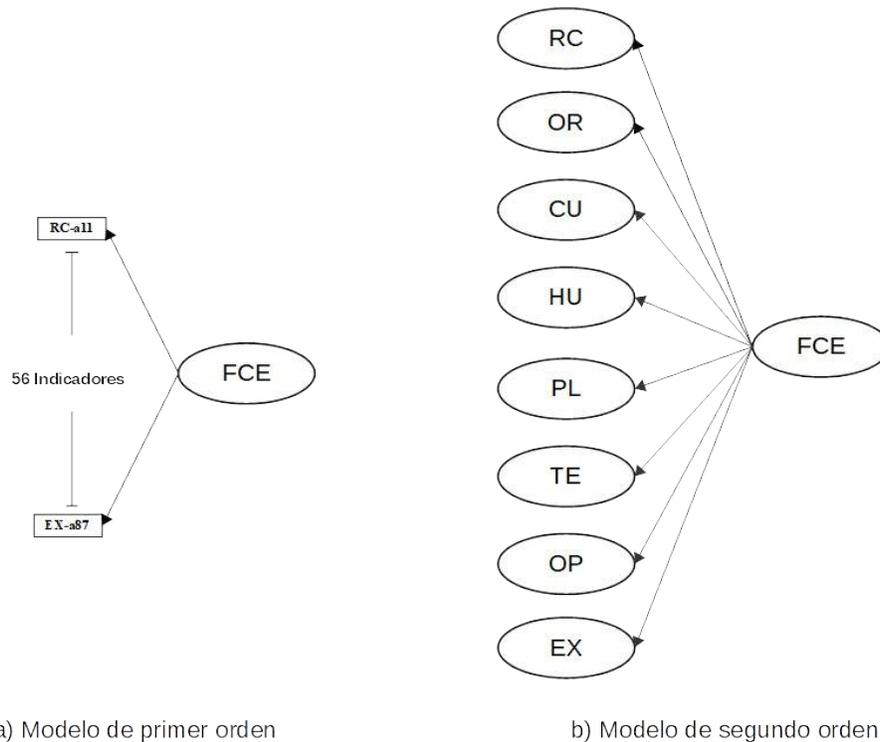


Figura 25. Modelo de ruta (*path*) de primer orden (a) y de segundo orden (b)

Fuente: Elaboración propia.

La cuarta revolución en general y la industria 4.0 en particular presentan grandes oportunidades para realizar investigación científica, ya que hay una plétora de áreas por explorar. Se pueden hacer futuras investigaciones para confirmar o refutar los hallazgos de esta investigación. En particular enfocarse en las partes más débiles de este como: obtener una mayor cantidad de respuestas para reforzar el análisis factorial que robustezca al instrumento de medición; revisar los ítems del instrumento de medición, especialmente las de los factores de planeación, y en general para mejorar las relaciones encontradas.

Existen muchas áreas relacionadas al tema Industria 4.0 que pueden ser investigadas. Esta el tema mismo de la investigación profundizando en la misma industria o la extensión a otras como la industria automotriz o aeronáutica. Se puede investigar cada tema por separado: FCE, medición de la madurez e impacto de la Industria 4.0. Se puede investigar los subtemas como las herramientas de la cuarta revolución industrial, el impacto social o el factor humano en la Industria 4.0. En los temas de mayor difusión por parte de los practicantes como: Transformación

digital, la nube, *data warehousing*, impresión 3D, realidad aumentada, automatización robótica, *analytics*, *IoT*, transformación industrial, gestión de la cadena de suministros digital, robótica, y tecnologías que se están incorporando a las empresas como machine learning, 5G y blockchain. Otro tema vital para las empresas es la realización de análisis de retorno de la inversión (ROI) de la transformación a Industria 4.0.

También se puede realizar investigación para actualizar el programa de carreras afines al cambio de nuevo paradigma como ingeniería en electrónica, mecatrónica y otras, inclusive agregar cursos sobre habilidades digitales casi en cualquier carrera, incluida medicina o agricultura. Para ofertar cursos de educación continua como ya se está haciendo en otros países e.g: University of Cambridge Judge Business School ofreciendo “Digital Disruption: Digital Transformation Strategies” y “Business Analytics: Decision Making Using Data”; Thayer School of Engineering at Dartmouth ofreciendo “The Professional Certificate in Applied Data Science”; Columbia University in the city of New York ofreciendo el diploma en “Machine Learning and Artificial Intelligence”; y muchos otros más.

6.5 Nota final

En vista del reciente evento pandémico que está sacudiendo al mundo en general y al sector manufacturero y a las cadenas de suministros en particular, es importante señalar como la implementación de algunas de las tecnologías de la cuarta revolución hubieran ayudado a disminuir las disrupciones sufridas, inclusive pueden ayudar en la “nueva realidad”. Tecnologías como automatización robótica, vehículos autónomos, inteligencia artificial, es decir procesos con un alto grado de automatización que por ende significa una reducción del elemento humano. Inclusive la pregunta moral sobre si la implementación de Industria 4.0 significa una reducción del elemento humano, quizás haya obtenido su respuesta.

Referencias

- Acosta, A. (2011). Extractivismo y neoextractivismo Dos caras de la misma maldición. *Mas allá del desarrollo*, Cd. de México, México. Fundación Rosa Luxemburg/Abya Yala, 83-118.
- Akhavan, P., Jafari, M. & Fathian, M. (2006). Critical success factors of knowledge management systems: a multi-case analysis, *European Business Review*, 18(2), 97-113, <https://doi.org/10.1108/09555340610651820>
- Alarcón, D., Sánchez, J. A., & De Olavide, U. (octubre, 2015). Assessing convergent and discriminant validity in the ADHD-R IV rating scale: User-written commands for Average Variance Extracted (AVE), Composite Reliability (CR), and Heterotrait-Monotrait ratio of correlations (HTMT). In *Spanish STATA Meeting* (pp. 1-39).
- Apel, H., & Wold, H. (1982). Soft modeling with latent variables in two or more dimensions: PLS estimation and testing for predictive relevance. *System under indirect observation*, 2, 209-247.
- Arsic, S. (2017). Key factors of project success in family small and medium-sized companies: the theoretical review. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*.
- Bagozzi, R. P., & Fornell, C. (1982). Theoretical concepts, measurements, and meaning. *A second generation of multivariate analysis*, 2(2), 5-23.
- Bagozzi, R. P., Yi, Y., & Phillips, L. W. (1991). Assessing construct validity in organizational research. *Administrative science quarterly*, 421-458.
- Balderrama R. (2018). *El proyecto "Hecho en China 2025": impulso del Estado hacia la transformación industrial con alcance global*. Revista Harvard Review of Latin America. Cambridge MA. Recuperado de <https://revista.drclas.harvard.edu/book/el-proyecto-%E2%80%9Checho-en-china-2025%E2%80%9D-impulso-del-estado-hacia-la-transformaci%C3%B3n-industrial>
- Barclay, D., Higgins, C. y Thompson, R. (1995). The partial least squares (PLS) approach modelling: Personal computer adoption and use as illustration. *Technology Studies*, 2(2), 285-309.

- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, 17(1), 99-120.
- Barney, J. B., & Hesterly, W. S. (2006). *Strategic management and competitive advantage*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Batista-Foguet, J. M., Coenders, G., & Alonso, J. (2004). Análisis factorial confirmatorio. Su utilidad en la validación de cuestionarios relacionados con la salud. *Medicina clínica*, 122(1), 21-27.
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing maturity models for IT management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213-222.
- Bellis M. (2017). The History of the Integrated Circuit (Microchip).: ThoughtCo. Recuperado de <https://www.thoughtco.com/history-of-integrated-circuit-aka-microchip-1992006>
- Berger, R. (2014). Industry 4.0: The new industrial revolution—How Europe will succeed. *Roland Berger strategy consultants, maart*.
- Bettenhausen, K. (2014): Erfolgsfaktoren Industrie 4.0: Qualifikation, Geschwindigkeit und Infrastruktur, *Baden-Baden: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.* Recuperado de <https://www.vdi.de/presse/artikel/erfolgsfaktoren-industrie-40-qualifikation-geschwindigkeit-und-infrastruktur/>
- Bodle, K. A., Brimble, M., Weaven, S., Frazer, L., & Blue, L. (2017). Critical success factors in managing sustainable Indigenous businesses in Australia. *Pacific Accounting Review*, (just accepted), 00-00.
- Boston Consulting Group, BCG. (Abril del 2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Recuperado de https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf
- Boynton, A. C., & Zmud, R. W. (1984). An assessment of critical success factors. *Sloan management review*, 25(4), 17-27.
- Buhr, D. (2015). Social innovation policy for Industry 4.0. *Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Social and Economic Policies*. Recuperado de

<http://sf-eu.net/wp-content/uploads/2016/08/buhr-daniel-2015-social-innovation-policy-for-industry-4.0-en.pdf>

Buisán, M., & Valdés, F. (2017). La industria conectada 4.0. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, (898).

BusinessDictionary.com. Recuperado de

<http://www.businessdictionary.com/definicion/critical-success-factors-CSF.html>

Caballero Domínguez, A. J. (2006, September). SEM vs. PLS: un enfoque basado en la práctica. In *Trabajo presentado en el IV Congreso de Metodologías de Encuestas. Madrid, España*.

CANIETI (2017). Estudio de diagnóstico e identificación de oportunidades de desarrollo de la Industria Electrónica de Baja California. Sin Publicar.

Campbell, D. y Fiske, D. (1959). Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin*, 56(2), 81-105.

Carmine, E. G., & Zeller, R. A. (1979). *Reliability and validity assessment* (Vol. 17). Sage publications.

Caro Márquez, E. (2017). La cuarta revolución industrial. Recuperado de:

https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/66285/La_cuarta_revolucion_industrial.pdf?sequence=1

Carreño I. (2019). *Cámara Brasileña de Industria 4.0 presenta plan de acción 2019-2022*. Ciudad de México. Dpl news. Recuperado de <https://digitalpolicylaw.com/camara-brasilena-de-industria-4-0-presenta-plan-de-accion-2019-2022/>

Chase, R.B., Jacobs, F.R. & Aquilano, N.J. (2007). *Operations Management for Competitive Advantage with Global Cases, International Edition*, Singapore: McGraw-Hill/Irwin.

Cheung, D., & Brach, E. (2014). *Conquering the Electron: The Geniuses, Visionaries, Egomaniacs, and Scoundrels who Built Our Electronic Age*. Rowman & Littlefield.

Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*, 295(2), 295-336.

- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.
- Cooper, R. G., & Kleinschmidt, E. J. (1995). Benchmarking the firm's critical success factors in new product development. *Journal of product innovation management*, 12(5), 374-391.
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 1-16.
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0, *In Procedia Manufacturing*, 11. 1288-1295. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.256>.
- Deane, P. (1980). *The First Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511622090
- De Bruin, T., Freeze, R., Kaulkarni, U., & Rosemann, M. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. Recuperado de http://eprints.qut.edu.au/25152/1/Understanding_the_Main_Phases_of_Developing_a_Maturity_Assessment_Model.pdf
- Doom, C., Milis K., Poelmans, S., & Bloemen, E., (2010). Critical success factors for ERP implementations in Belgian SMEs. *Journal of Enterprise Information Management*, 23(3). 378-406, <https://doi.org/10.1108/17410391011036120>
- Dworschak, B., & Zaiser, H. (2014). Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing – First Findings and Scenarios, *In Procedia CIRP*, 25, 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.048>.
- De Carolis A., Macchi M., Negri E. & Terzi S. (2017). Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization A methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320287385_Guiding_Manufacturing_Companies_Towards_Digitalization_A_methodology_for_supporting_manufacturing_companies_in_defining_their_digitalization_roadmap

- De Leoz, G. M. (2017). Exploring the impacts of development methodologies on the collective action of information systems development project teams (Doctoral dissertation).
- del Val J. L. (18 de marzo de 2016). Industria 4.0 La transformación digital de la industria. *Revista Ingeniería*. Recuperado de <http://revistaingenieria.deusto.es/tag/industria-4-0/>
- Eisenhardt, K. M., & Santos, F. M. (2002). Knowledge-based view: A new theory of strategy. *Handbook of strategy and management*, 1(1), 139-164
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihm, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. *In International Conference on Competitive Manufacturing*.
- Ergonomics (SF). Industry 4.0 Human Factors Challenges. *Ergonomicsblog*. Recuperado de <http://www.ergonomicsblog.uk/industry-4-0/>
- Esnard, C. (2017). Accompagnement individuel et collectif du changement par le développement des compétences (Doctoral dissertation, Université Rennes 2)
- Etxeberria, J. (2007). Regresión múltiple. *Regresión múltiple*, 0-0. Editorial La Muralla S.A. Madrid, España.
- Farrell, A. (2010). Insufficient discriminant validity: a comment on Bove, Pervan, Beatty and Shiu (2009). *Journal of Business Research*, 63(3), 324-327.
- Fernández, C. (mayo- junio, 2004). Cálculo de la muestra. ¿Cómo y por qué? *CH Continuada*. 3(3). 138-142.
- Fielding R.E. (2017). Lee de Forest: Encyclopædia Britannica, inc. Recuperado de <https://www.britannica.com/biography/Lee-de-Forest>.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- Franquet Bernis, J. M. (2008). El estudio operativo de la psicología: una aproximación matemática. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Centro Asociado de Tortosa.
- Gabriel, M., & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 14(2), 131.
- Gallego, C. F. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas profesión*, 5(18), 5-13.

- Galván M. O., & Esquinca M. A. (2019). Alienación y satisfacción laboral en la industria de vestiduras automotrices: Caso Ciudad Juárez, Chihuahua. *RECAI: Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 8(23), 1-23.
- Galván M. O. (2019). Efectos de la alineación laboral sobre la satisfacción laboral y el empoderamiento psicológico: Caso del sector automotriz de Ciudad Juárez, Chihuahua (Tesis Doctoral). Doctorado en Ciencias Administrativas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez, México.
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering & Management*, 9(5), 1119-1128.
doi:10.3926/jiem.2073
- García-García, J., & Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 2(8), 217-224.
- Garson, G. D. (2016). *Asheboro, NC: Statistical Associates Publishers*.
- Gefen, D., Straub, D., & Boudreau, M. C. (2000). Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. *Communications of the association for information systems*, 4(1), 7. <https://aisel.aisnet.org/cais/vol4/iss1/7/>
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Gold, A., Malhotra, A. y Segars, A. (2001). Knowledge management: an organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, 18(1), 185-214
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017, October). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*. 128-142.
- Götz, O., Liehr-Gobbers, K., & Krafft, M. (2010). Evaluation of structural equation models using the partial least squares (PLS) approach. In *Handbook of partial least squares* (pp. 691-711). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gracel, J. & Lebkowsky, P. (2017). The concept of Industry 4.0 related manufacturing technology maturity model (ManuTech Maturity Model, MTMM). *Conference proceedings DMMS 2017*. 73-86. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320830841_The_concept_of_Industry_40_related_manufacturing_technology_maturity_model_ManuTech_Maturity_Model_MTMM

- Grant, R. M. (1999). The resource-based theory of competitive advantage: implications for strategy formulation. In *Knowledge and strategy*. 3-23.
- Gudynas, E., & Acosta, A. (2011). La renovación de la crítica al desarrollo y el buen vivir como alternativa. *Utopía y praxis latinoamericana*, 16(53).
- GTAI Germany Trade & Invest, (2017). Industrie 4.0 – What Is It? Recuperado de <https://industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40/Navigation/EN/Topics/Industrie-40/what-is-it.html?view=renderPrint>.
- Gyorey, T., Jochim, M., & Norton S (Noviembre, 2010). *McKinsey Global Survey results: The challenges ahead for supply chains*. Recuperado de <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-challenges-ahead-for-supply-chains-mckinsey-global-survey-results>
- Hair Jr, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2007). *Análisis multivariante*, 5ta Edición. Madrid: Prentice Hall Iberia.
- Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing theory and Practice*, 19(2), 139-152.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*. 31(1), 2-24
- Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Hopkins, L., & Kuppelwieser, V. G. (2014). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). *European business review*.
- Hair, J., Sarstedt, M., Pieper, T y Ringle, C. (2012). The use of partial least squares structural equation modeling in strategic management research: a review of past practices and recommendations for future applications. *Long range planning*, 45(5-6), 320-340.
- Ham Aburto, L. (2006). La importancia de la industria electrónica en Jalisco. *Escholarum*. Recuperado de <http://genesis.uag.mx/revistas/escholarum/articulos/cyt/industria.cfm>.
- Haque Muhibul (2016). History of Electronics. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4683.4967>

- Hardin, A. M., Chang, J. C. J., & Fuller, M. A. (2008). Formative vs. reflective measurement: Comment on Marakas, Johnson, and Clay (2007). *Journal of the Association for Information Systems*, 9(9), 519-534.
- Harting P. (SF). Industry 4.0 – Employees are the decisive success factor. Recuperado de <http://www.harting.co.in/industrial-connectors/industry-40-role-of-employees-as-critical-success-factors/>
- Háry, A. (2016). Future possibilities. Social challenges and adaptation requirements of Industrial Progress. *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 47(10), 31-38.
- Hayes, J. (2014). *The theory and practice of change management*. Palgrave Macmillan.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. Pearson Educación.
- Henning, K. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista M. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill México.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill México.
- Henseler, J., Ringle, C. & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115-135.
- Henseler, J., Ringle, C. & Sinkovics, R. (2009), "The use of partial least squares path modeling in international marketing", Sinkovics, R. and Ghauri, P. (Ed.) *New Challenges to International Marketing (Advances in International Marketing, Vol. 20)*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 277-319. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- Herterich, M. M., Uebernickel, F., & Brenner, W. (2015). The impact of cyber-physical systems on industrial services in manufacturing. *In Procedia CIRP*, 30, 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.110>

- Hitt, M. A., Xu, K., & Carnes, C. M. (2016). Resource based theory in operations management research. *Journal of Operations Management*, *41*, 77-94.
- Hofmann, E. y Rüschi, M. (2017), Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, *In Computers in Industry*, *89*, 23-34.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>.
- Holotiuk, F.; Beimborn, D. (2017): Critical Success Factors of Digital Business Strategy, in Leimeister, J.M.; Brenner, W. (Hrsg.): Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017), St. Gallen, S. 991-1005. Recuperado de <https://www.wi2017.ch/images/wi2017-0244.pdf>
- Hoyle, R. H. (1995). The structural equation modeling approach: Basic concepts and fundamental issues. In R. H. Hoyle (Ed.), *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications* (p. 1–15). Sage Publications, Inc.
- Huan, S. H., Sheoran, S. K., & Wang, G. (2004). A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. *Supply Chain Management: An International Journal*, *9*(1), 23-29.
- Hulland, J. (1999). Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies. *Strategic management journal*, *20*(2), 195-204.
- Idris, R. (2018). IR 4.0: the way forward. *Daily Express*, 16. Recuperado de <http://eprints.ums.edu.my/18567/1/IR%204.0.pdf>
- Imran, M., Aziz, A., & Hamid, S. (2017). Determinants of SME export performance. *International Journal of Data and Network Science*, *1*(2), 39-58.
- Jacquez-Hernández, M. V., Torres, V. G. L., & Rivas, D. A. P. (2020) 5. Factores críticos de éxito para la evolución hacia la Industria 4.0. Un estado del arte. *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*.
- Jacquez-Hernández, M. V., & Torres, V. G. L. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, *6*(20), 61-78.

- Jäger, J. M., Görzig, D., Paulus-Rohmer, D., Schatton, H., Baku, S., Weskamp, M., & Lucke, D. (2015). *Industrie 4.0–Chancen und Perspektiven für Unternehmen der Metropolregion Rhein-Neckar. by Industrie-und Handelskammern Rhein-Neckar, Pfalz und Darmstadt Rhein Main Neckar.*
- Jäger, J., Schöllhammer, O., Lickefett, M., y Bauernhansl, T. (2016), Advanced Complexity Management Strategic Recommendations of Handling the “Industrie 4.0” Complexity for Small and Medium Enterprises, *In Procedia CIRP*, 57, 116-121.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.021>.
- Jæger, B., & Halse, L. L. (2017, September). The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard: A Case Study of Norwegian Manufacturing Companies. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 143-150).
- Johnson, M. D., Herrmann, A., & Huber, F. (2006). The evolution of loyalty intentions. *Journal of marketing*, 70(2), 122-132.
- Johnson, R. L., & Morgan, G. B. (2016). *Survey scales: A guide to development, analysis, and reporting*. Guilford Publications.
- Jojo. (2012). The History of Electronics-Infographics. India. *Circuits Today Electronic Solutions*. Recuperado de <http://www.circuitstoday.com/the-history-of-electronics-infographics>
- Junior, A. C. P., da Silva, S. L., & Pacifico, O. Critical Success Factors and the “Iron Triangle”: A study in Project Manufacturing Environments. Recuperado de <http://www.ieomsociety.org/ieomuk/papers/65.pdf>
- Keil, M., Tan, B. C., Wei, K. K., Saarinen, T., Tuunainen, V., & Wassenaar, A. (2000). A cross-cultural study on escalation of commitment behavior in software projects. *MIS quarterly*, 299-325.
- Kelley, T. L. (1942). The reliability coefficient. *Psychometrika*, 7(2), 75-83.
- Kellstedt, P. M., & Whitten, G. D. (2013). *The fundamentals of political science research*. Cambridge University Press.
- Kermer-Meyer A. (27 de Abril de 2017). Industry 4.0 Maturity Assessment. Hannover Messe 2017. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/317720108_Industry_40_Maturity_Assessment
- Khodaveysi, S., Mobarakabadi, H., & Slambolchi. (2016). *Advanced Social humanities and Management* 3(2). 22-28

- Kiesel, M., & Wolpers, M. (2015, October). Educational challenges for employees in project-based industry 4.0 scenarios. *In Proceedings of the 15th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business*, 41. ACM.
- Killen, C. P., Jugdev, K., Drouin, N., & Petit, Y. (2012). Advancing project and portfolio management research: Applying strategic management theories. *International Journal of Project Management*, 30(5), 525-538.
- Kim, S., & Kim, S. (2016). A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 143-155.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.05.007>
- Kindermann, L., Traebert, J., & Nunes, R. D. (2019). Validation of an anxiety scale for prenatal diagnostic procedures. *Revista de saude publica*, 53, 18.
- Klötzer, C., & Pflaum, A. (2017). Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain. Recuperado de <http://hdl-128-171-57-22.library.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/41669/1/paper0520.pdf>
- Kopp, J., & Basl, J. (2017). Study of the Readiness of Czech Companies to the Industry 4.0. *Journal of Systems Integration*, 8(3), 40-45. doi:10.20470/jsi.v8i2.313
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2009). Availability impact analysis of project management trends: Perspectives from allied disciplines. *Project Management Journal*, 40(2), 94-103.
- Kwong K. & Wong K. (2013). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) techniques using SmartPLS. *Marketing Bulletin, Technical note*, 1(24), 1-32.
- Levy, J., Varela, J. & Abad, J. (2006). Modelización con estructuras de covarianzas en Ciencias Sociales, *Netbiblo*: Madrid, España
- Leyh, C., K. Bley, K., Schäffer, T. & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Gdansk, 1297-1302. Recuperado de <http://148.231.10.114:2102/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7733413&isnumber=7733200>

- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M. Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). "IMPULS - Industrie 4.0-Readiness," *Impuls-Stiftung des VDMA*, Aachen-Köln.
- López, R. R., Morales, S. A. N., Toledo, C. E. E., & Delgado, V. I. Á. (2009). Factores Críticos de Éxito: Una estrategia de competitividad. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, (31), 5-14.
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A., & Tomás-Marco, I. (2014). *El Análisis Factorial Exploratorio de los Ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. Anales de Psicología*, 30(3), 1151-169 <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361>
- Manufacturing USA (SF). *Manufacturing USA Joint the innovation revolution*. Gaithersburg MD: NIST. Recuperado de <https://www.manufacturingusa.com/institutes>
- Marcoulides, G. A., & Saunders, C. (2006). Editor's comments: PLS: a silver bullet?. *MIS quarterly*, iii-ix.
- Martínez Ávila, Minerva, & Fierro Moreno, Eréndira. (2018). Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16), 130-164. <https://dx.doi.org/10.23913/ride.v8i16.336>
- Máynez Guaderrama, A. & Vargas Salgado, M. (2019). Modelos de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales: un ejemplo de su aplicación en el campo de las ciencias administrativas. *Instituto de Ciencias Sociales y Administración*.
- Mento, A., Jones, R., & Dirndorfer, W. (2002). A change management process: Grounded in both theory and practice. *Journal of Change Management*, 3(1), 45-59.
- Montgomery, D. C. & Runger, G. C., (2003). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México DF: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Mirabal, R. Y., & De Jesus, C., (2014). Metodología de la Investigación Científica: Una guía didáctica para elaborar tesis (versión Kindle). Producciones Mirabal, Santo Domingo Oeste, República Dominicana.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of manufacturing systems*, 49, 194-214.
- .Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M., & Landherr M. (2016). Industrie 4.0 - From the Perspective of Applied Research, *In Procedia CIRP*, 57, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.002>.
- Nobelprize.org (2014). The History of the Integrated Circuit.: *Nobel Media AB*. Recuperado de http://www.nobelprize.org/educational/physics/integrated_circuit/history/
- Ojo B. (8 de enero de 2014). Top 10 Electronics Supply Chain Risks. *EPSNews*. Recuperado de <https://epsnews.com/2014/01/08/top-10-electronics-supply-chain-risks/>

- Osterwalder A. & Pigneur Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley & Sons Inc.
- Oviedo, H. C., & Arias, A. C. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista colombiana de psiquiatría*, 34(4), 572-580.
- Pangesti, R. D., Sumertajaya, I., & Sukmawati, A. (2016). Partial Least Square Structural Equation Modeling (PLS-SEM) with Biner Data (Case Study: Knowledge Creation on Dairy Cooperative in Indonesia). *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*, 6(4), 327-332.
- Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Marmolejo-Saucedo, J. A. Caracterización de modelo de negocio en el marco de industria 4.0.
- Quero Virla M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12(2), 248-252.
- Rabolini, N. M. (2009). Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa. *Revista argentina de humanidades y ciencias sociales*, 2.
- Ralph, P. (2018). Toward methodological guidelines for process theories and taxonomies in software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 45(7), 712-735.
- Rashid, M. H. A., Hasanordin, R., & Ahmad, F. S. (2016). Are Customers Willing to Act Beyond Positive Word-of-Mouth After Service Recovery? A PLS-SEM Approach in the Restaurant Industry. *International Journal of Arts & Sciences*, 9(4), 535-548.
- Reder, L., & Klünder, T. (2017). Application of SCOR flexibility metrics to assess the Industry 4.0-Readiness of Supply Chain Networks: an empirical study.
- Reinartz, W., Haenlein, M., & Henseler, J. (2009). An empirical comparison of the efficacy of covariance-based and variance-based SEM. *International Journal of research in Marketing*, 26(4), 332-344.
- Rigdon, E. E. (2016). Choosing PLS path modeling as analytical method in European management research: A realist perspective. *European Management Journal*, 34(6), 598-605. <http://dx.doi.org/10.1016/j.emj.2016.05.006>
- Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard business review*, 57(2), 81-93.

- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal Of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77-90. doi:10.3991/ijim.v11i5.7072
- Samander, B. A., Siam, M. R., Basri, W. S., & Hamed, A. A. (2017). ERP Acceptance in Airline Industry of Saudi Arabia with Mediating Effect of Job Security. *International Journal*, 11(2), 226-240.
- Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). Metodología y diseños en la investigación científica, 5ta Ed. (Versión Kindle). Edit. Business Support Anneth SRL, Lima-Perú.
- Saxena, D. K. (2017). Key Factors and Underlying Mechanisms for the Enterprise Systems Lifecycle in Public Service Organisations. Recuperado de [http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/82062/Deepak%20Saxena%20\(13307997\).pdf?sequence=1](http://www.tara.tcd.ie/bitstream/handle/2262/82062/Deepak%20Saxena%20(13307997).pdf?sequence=1)
- Scace R.I. (2016). Electronic: *Encyclopædia Britannica, inc.* Recuperado de <https://www.britannica.com/technology/electronics>
- Schagerl, M, Jodlbauer, H. & Brunner, M. (2016). Reifegradmodell Industrie 4.0-Ein Vorgehensmodell zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen. In *GI-Jahrestagung*. 1473-1487.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52 (The Sixth International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2016), 161-166. doi:10.1016/j.procir.2016.07.040
- Secretaría de Economía. (2016). *Crafting the Future: A roadmap for Industry 4.0 in México*. Recuperado de https://clusterinstitute.com/Documentos/MRT_Industry_I40.pdf
- Secretaría de Planeación y Políticas (2015). Industria 4.0: Escenarios e impactos para la formulación de políticas tecnológicas en los umbrales de la cuarta revolución industrial. *Infosepp*, 5(21), SP
- Seidel, G. y Back, A. (2009). Success factor validation for global ERP programmes. Paper presented at the 17th European Conference of Information Systems. *ECIS, Verona, Italia*.
- Sentryo. (2017). The 4 industrial revolutions. Recuperado de <https://www.sentryo.net/the-4-industrial-revolutions/>

- Semolic, B., & Steyn, P. (2017). Industry 4.0 Virtual Value Chains and Collaborative Projects. Recuperado de <http://pmworldjournal.net/wp-content/uploads/2017/09/pmwj62-sep2017-Semolic-Steyn-industry-4.0-virtual-value-chains-featured-paper.pdf>.
- Shinohara, A. C., da Silva, E. H. D. R., de Lima, E. P., Deschamps, F., & da Costa, S. E. G (2017). Critical Success Factors for Digital Manufacturing Implementation in the Context of Industry 4.0. In *IIE Annual Conference*. Proceedings 199-204.
- Shook, C. L., Ketchen Jr, D. J., Hult, G. T. M., & Kacmar, K. M. (2004). An assessment of the use of structural equation modeling in strategic management research. *Strategic management journal*, 25(4), 397-404.
- Shmueli, G., Sarstedt, M., Hair, J. F., Cheah, J. H., Ting, H., Vaithilingam, S., & Ringle, C. M. (2019). Predictive model assessment in PLS-SEM: guidelines for using PLSpredict. *European Journal of Marketing*. 53(11), 2322-2347. <https://doi.org/10.1108/EJM-02-2019-0189>
- Shyu, C., Li, Y. y Tang, Y. (2013). Applying confirmatory factor analysis on the measure for restaurant over-service. *The Journal of International Management Studies*, 8(2), 10-16.
- Soldatos, J., Gusmeroli, S., Malo, P., & Di Orio, G. (2016). Internet of Things Applications in Future Manufacturing. *Digitising Industry-Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds*, 153-183.
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*, 25(3), 174-184.
- Szalavetz, A. (2017). The Environmental Impact of Advanced Manufacturing Technologies: Examples from Hungary. *Central European Business Review*, 6(2), 18-29.
- Svampa, M. (2011). Extractivismo neodesarrollista y movimientos sociales. ¿Un giro eco territorial hacia nuevas alternativas? *Mas allá del desarrollo*. Ecuador. Fundación Rosa Luxemburgo/Abya Yala, 185-218.
- Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A., & Testa, C. (2016). A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the industry 4.0 Era. *Procedia CIRP*, 57, 122-127.

- Unidad de Inteligencia de Negocios ProMéxico (2014). *Diagnostico Sectorial Industria Electrónica*. Recuperado de <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/electronico.pdf>
- Urbach, N., & Ahlemann, F. (2010). Structural Equation Modeling in Information Systems Research Using Partial Least Squares. *The Journal of Information Technology Theory and Application, 11*, 2.
- Van de Ven, A. H., & Poole, M. S. (1995). Explaining development and change in organizations. *Academy of management review, 20*(3), 510-540.
- Vassallo, D. (20 de Enero de 2017). Don't Lose Sight of the "Human Factor" in Industry 4.0. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/dont-lose-sight-human-factor-industry-40-davide-vassallo/>
- Viharos, Z. J., Soós, S., Nick, G. A., Várgedó, T., & Beregi, R. J. (2017). Non-comparative, Industry 4.0 readiness evaluation for manufacturing enterprises. Recuperado de http://eprints.sztaki.hu/9238/1/Viharos_181_3257460_ny.pdf
- Volery, T., & Lord, D. (2000). Critical success factors in online education. *International journal of educational management, 14*(5), 216-223.
- Werts, C. E., Linn, R. L., & Jöreskog, K. G. (1974). Intraclass reliability estimates: Testing structural assumptions. *Educational and Psychological measurement, 34*(1), 25-33
- Wessels H. (2017). Two sides of the same coin Safety is a critical success factor for Industry 4.0. Recuperado de <https://cpp.industrie.de/safety/safety-and-security-two-sides-of-the-same-coin/>
- Wong, K. K. K. (2019). *Mastering partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) with Smartpls in 38 hours*. iUniverse.
- World Economic Forum & Kearny A.T. (2018). Readiness for the Future of Production Report 2018. Recuperado de: http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf
- Wu, M. L. (2009). Structural equation modeling: Amos operation and application. *Wu-Nan Book Inc, Taipei, Taiwan*.
- Yeh, C. C., & Chen, Y. F. (2018). Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change, 132*, 209-216.

Apéndice A. Cuestionario para evaluación de los FCE, madurez e impacto de la Industria 4.0

Este documento contiene información propiedad de Marco V. Jacquez. Ninguna porción de la información contenida en él podrá ser utilizada en ninguna forma sin el consentimiento escrito de Marco V. Jacquez.

Este cuestionario tiene como intención conocer cómo las empresas se están transformando para insertarse en las cadenas de valor de la I4.0, identificar en qué etapa del proceso se encuentran, así como el impacto de esta transición en los factores críticos de éxito. Es importante comentar que la información obtenida a través de este instrumento será utilizada para fines exclusivamente académicos bajo un estricto criterio de confidencialidad.

A. Factores críticos de éxito (FCE) para la evolución a Industria 4.0. 8FCE-I40.

Esta sección está dividida en 8 categorías. Cada categoría agrupa ítems considerados factores críticos de éxito para una área específica de la empresa, en su evolución como Industria 4.0.

Factores relacionados al cliente: Aquí se agrupan factores relacionados con productos y servicios ofertados al cliente. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en <= desacuerdo				Completamente de acuerdo =>		
	1	2	3	4	5	6	7
En esta empresa es común:							
Realizar Análisis sistemático (analytics) para personalizar productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realizar Análisis sistemático (analytics) para personalizar servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realizar Análisis sistemático (analytics) para crear productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realizar Análisis sistemático (analytics) para crear servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tener canales de comunicación con el cliente sin conexión (físicos) y en línea (digitales) integrados perfectamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interactuar con el cliente a través de realidad aumentada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interactuar con el cliente a través de tecnologías enfocadas en él	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interactuar con el cliente a través de viajes digitales de decisión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Factores organizacionales: Aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos de la organización dentro de la empresa. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
En esta empresa:	1	2	3	4	5	6	7
Los diferentes departamentos utilizan medios digitales en sus labores	<input type="radio"/>						
La administración se enfoca en lograr cambios radicales	<input type="radio"/>						
La administración se enfoca en lograr cambios rápidos	<input type="radio"/>						
Se busca tener una organización de varios niveles para reaccionar de una forma más rápida	<input type="radio"/>						
Se busca tener una organización que funciona a distintas velocidades para una reacción más oportuna	<input type="radio"/>						
Se busca tener una organización con una orientación a largo plazo pero un sprint (corto e intenso) para cambiar	<input type="radio"/>						
Se busca tener una organización que pueda dar una respuesta rápida a los desarrollos tecnológicos del mercado	<input type="radio"/>						

Factores culturales: Aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos culturales dentro de la empresa. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
La empresa en la que laboro:	1	2	3	4	5	6	7
Tiene un compromiso con la transformación de estrategia de acuerdo a cambios de mercados, tendencias globales, etc.	<input type="radio"/>						
Tiene un compromiso con la transformación de la cultura	<input type="radio"/>						
Cuenta con un conjunto común de valores entre los que destaca la creación digital	<input type="radio"/>						

Promueve una mentalidad digital por medio de una agenda orientada a lo digital	<input type="radio"/>						
Tiene una cultura capaz de adaptarse a objetivos evolutivos	<input type="radio"/>						
Tiene una cultura impulsada por la innovación	<input type="radio"/>						

Factores humanos: Aquí se agrupan factores relacionados con el capital humano. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
En esta empresa:	1	2	3	4	5	6	7
Los empleados tengan competencias interdisciplinarias	<input type="radio"/>						
Los empleados tienen habilidades de conocimiento experto, creatividad e innovación	<input type="radio"/>						
Los empleados son flexibles (son capaces de adaptarse a diferentes circunstancias)	<input type="radio"/>						
Los empleados tienen capacidad para desarrollar habilidades diferentes a tecnologías de la información como la visión, la colaboración y la gestión del cambio organizacional	<input type="radio"/>						
Los empleados tienen habilidades digitales (capacidad para usar medios electrónicos)	<input type="radio"/>						
Los empleados tienen habilidades técnicas (operación y/o mantenimiento de maquinaria)	<input type="radio"/>						
Los mandos directivos tienen capacidad para diseñar nuevos modelos de negocios	<input type="radio"/>						

Factores de planeación: Aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos de la planeación. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
La empresa ...	1	2	3	4	5	6	7
Cuenta con una estrategia de implementación para	<input type="radio"/>						

Industria 4.0							
Fomenta la innovación más rápida de prototipos	<input type="radio"/>						
Fomenta la creación rápida de prototipos	<input type="radio"/>						
Tiene un modelo de investigación y desarrollo para Industria 4.0	<input type="radio"/>						
Tiene un modelo de negocios para Industria 4,0	<input type="radio"/>						
Tiene capacidad para realizar proyectos colaborativos	<input type="radio"/>						
Puede desarrollar una velocidad de implementación de Industria 4.0 superior a la competencia	<input type="radio"/>						

Factores tecnológicos: Aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos de la tecnología. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en <= desacuerdo				Completamente de acuerdo =>			
La empresa ...	1	2	3	4	5	6	7	
Cuenta con una arquitectura del sistema de información que admite datos de Internet de la cosas (IoT)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Tiene capacidad de transformar grandes cantidades de datos (Big Data) en conocimiento y con ello toma decisiones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Cuenta con nuevas tecnologías (por ejemplo: sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes o robots autónomos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Puede procesar datos en tiempo real	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Tiene una seguridad (security) cibernética de las Tecnologías de la Información	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Cuenta con soporte técnico para herramientas de manufactura digital	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Gestiona los datos desde una fuente (servidor) central	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Factores operacionales: Aquí se agrupan factores relacionados con los diferentes aspectos operacionales de la empresa. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	Totalmente en	Completamente
--	---------------	---------------

La empresa ...	<= desacuerdo							de acuerdo =>						
	1	2	3	4	5	6	7							
Tiene capacidad de realizar automatización	<input type="radio"/>													
Puede mezclar los recursos humanos y digitales	<input type="radio"/>													
Cambia sus modelos de negocios y también los modelos operativos	<input type="radio"/>													
Tiene procesos basados en datos	<input type="radio"/>													
Tiene capacidad para un proceso automatizado digital	<input type="radio"/>													
Tiene seguridad funcional de su maquinaria (safety)	<input type="radio"/>													
Tiene una infraestructura digital integral a prueba de fallas	<input type="radio"/>													

Factores externos: Aquí se agrupan factores externos que afectan a la empresa. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo que es un factor crítico de éxito.

	No le afecta en				Le afecta			
	<= absoluto				grandemente =>			
	1	2	3	4	5	6	7	
Aspectos gubernamentales favorables	<input type="radio"/>							
Contar con una certeza legal	<input type="radio"/>							
Capacidad para establecer un entorno digital dinámico	<input type="radio"/>							
Una infraestructura regional favorable	<input type="radio"/>							
Que los proveedores externos tengan capacidad de integrarse con la empresa	<input type="radio"/>							
Que estén disponibles servicios digitales de alta calidad que la empresa pueda subcontratar	<input type="radio"/>							
Socios externos con conocimiento y experiencia en Industria 4.0	<input type="radio"/>							

B. Medición del grado de preparación/madurez para evolucionar a Industria 4.0, MM-I40.

Esta sección esta dividida en 10 categorías, cada una de ellas corresponde a diferentes áreas de la empresa

Productos y servicios: Las siguientes preguntas están diseñadas para conocer el grado de incorporación de sistemas ciber-físicos, IoT y/o servicios en el diseño de los productos o capacidad para hacerlo. Así como otras preguntas sobre la personalización y digitalización de productos y/o servicios. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca							Siempre =>
La empresa...	1	2	3	4	5	6	7	
Ofrece productos individualizados	<input type="radio"/>							
Digitaliza los productos o algún subproducto	<input type="radio"/>							
Integra los productos con otros sistemas ofrecidos a los clientes	<input type="radio"/>							
Ofrece productos con microelectrónica incrustada	<input type="radio"/>							
Ofrece productos con servicios de software incrustados	<input type="radio"/>							
Ofrece productos con sistemas embebidos	<input type="radio"/>							
Ofrece productos con interfaces abiertas	<input type="radio"/>							
Ofrece productos inteligentes embebidos en una infraestructura de Big Data	<input type="radio"/>							
Ofrece productos con tecnología bluetooth	<input type="radio"/>							
Incluye en sus productos o empaque etiquetas RFID	<input type="radio"/>							

Clientes: Las siguientes preguntas están diseñadas para conocer la utilización de datos de los clientes, digitalización de ventas y servicios, y otros ofrecimientos digitales. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca							Siempre =>
La empresa...	1	2	3	4	5	6	7	
Utiliza los datos de los clientes para incorporarlos a la toma de decisiones	<input type="radio"/>							
Digitaliza la información de las ventas	<input type="radio"/>							
Digitaliza la información asociada a los servicios que	<input type="radio"/>							

presta							
Desarrolla competencia de medios digitales (uso de dispositivos móviles, aplicaciones en la nube) del cliente para la mejora de productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La empresa...	Portafolio de productos físicos				Servicios basados en Big Data "datos como servicio"		
Ofrece a los clientes ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Operaciones: Las siguientes preguntas están diseñadas para conocer el uso de modelado y simulación, colaboración interdepartamental, uso de Internet en el piso de producción y otras técnicas avanzadas de manufactura en la producción y diseño de productos y/o servicios. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca Siempre =>						
En la empresa...	1	2	3	4	5	6	7
En las líneas de producción se utilizan sensores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En las líneas de producción se utilizan robots o cobots (robots colaborativos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se usa manufactura aditiva (impresión 3D, incluidos los prototipos de productos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se realiza simulación del proceso de producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utilizan sistemas ciber-físicos (CPS) para la manufactura de los productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utilizan materiales inteligentes para la manufactura de los productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En las líneas de producción se utilizan vehículos autónomos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los prototipos de los productos se desarrollan digitalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La empresa...	<= 0% 100% =>						
Tiene un avance de la transformación del proceso de planeación a Industria 4.0 de ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiene un avance de la transformación del proceso de adquisición a Industria 4.0 de ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Está realizando la transformación del proceso de producción a Industria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Esta fábrica está automatizada en un ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tecnología: Las siguientes preguntas están diseñadas para evaluar el grado de modernización y seguridad del sistema de tecnología de la información y comunicación, uso de dispositivos móviles, y de otras tecnologías avanzadas. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca Siempre =>						
En la empresa...	1	2	3	4	5	6	7
Los sensores están conectados a la red de datos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se usan dispositivos móviles para la manufactura del producto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se usa comunicación máquina a máquina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se usa realidad aumentada en producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se usa realidad virtual en producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utilizan dispositivos IoT (Internet de las cosas) para aplicaciones de manufactura virtual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utilizan dispositivos IoT (Internet de las cosas) para automatización de la fábrica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utilizan herramientas (como Hadoop) para big data	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utiliza inteligencia artificial para el análisis de datos (analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Se utiliza semántica para el análisis de datos (semantic analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Estrategia: Las siguientes preguntas están diseñadas para evaluar Disponibilidad de hoja de ruta para Industria 4.0, adaptación de modelos de negocio. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca							Siempre =>
	1	2	3	4	5	6	7	
La empresa...								
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para transformación a Industria 4.0	<input type="radio"/>							
Destina recursos para lograr su transformación a Industria 4.0	<input type="radio"/>							
Adapta los modelos de negocios para ser Industria 4.0	<input type="radio"/>							
Emplea los nuevos modelos de negocios	<input type="radio"/>							
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para productos	<input type="radio"/>							
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para productos inteligentes	<input type="radio"/>							
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para servicios inteligentes	<input type="radio"/>							
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para sistemas de servicio	<input type="radio"/>							
Usa una hoja de ruta de implementación (roadmap) para ser una empresa conducida por datos	<input type="radio"/>							

Liderazgo: Las siguientes preguntas están diseñadas para evaluar liderazgo comprometido con el cambio de paradigma, habilidades y competencias de gestión. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca							Siempre =>
	1	2	3	4	5	6	7	
Los líderes (alta gerencia, gerente general)...								
Utilizan una estrategia de digitalización	<input type="radio"/>							

Tienen voluntad de cambio hacia Industria 4.0	<input type="radio"/>						
Desarrollan competencias y métodos de gestión para Industria 4.0	<input type="radio"/>						
Adaptan los modelos de negocios para ser una empresa Industria 4.0	<input type="radio"/>						
Promueven el uso de la gestión del conocimiento	<input type="radio"/>						
La empresa...							
Permite el desarrollo de liderazgo en todos los niveles para posicionar a la empresa en el grupo élite I4.0	<input type="radio"/>						
Mide el nivel de desarrollo de competencias de liderazgo según objetivos y hojas de ruta	<input type="radio"/>						

Sistema de gobierno (gobernanza): Las siguientes preguntas están diseñadas para regulaciones laborales para Industria 4.0, protección de propiedad intelectual y otras relacionadas. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca Siempre =>						
La empresa...	1	2	3	4	5	6	7
Tiene normas y políticas laborales para el contexto de Industria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respeto las normas laborales del contexto de Industria 4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respeto la propiedad intelectual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Promueve la protección de la propiedad intelectual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En la región							
Existen normas tecnológicas idóneas acorde a I4.0	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Cultura: Las siguientes preguntas están diseñadas para Intercambio de conocimiento, innovación abierta y otras características culturales. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

En la empresa...	<= Nunca					Siempre =>	
	1	2	3	4	5	6	7
Se realiza intercambio de conocimiento	<input type="radio"/>						
Existe innovación abierta con empresas proveedores	<input type="radio"/>						
Existe innovación abierta con empresas clientes	<input type="radio"/>						
Existe colaboración con empresas proveedores	<input type="radio"/>						
Existe colaboración con empresas clientes	<input type="radio"/>						
Se valora el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC)	<input type="radio"/>						
La cultura organizacional esta abierta a la innovación	<input type="radio"/>						
La cultura organizacional se caracteriza por una apertura para las tecnologías digitales – El entendimiento de los datos como un portador de valor	<input type="radio"/>						

Capital humano: Las siguientes preguntas están diseñadas para competencias y habilidades del personal, apertura del personal a nuevas tecnologías, etc. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

Los empleados ...	<= Nunca					Siempre =>	
	1	2	3	4	5	6	7
Tienen competencias en tecnologías de información y comunicación (TIC), que soportan la Industria 4.0	<input type="radio"/>						
Tienen apertura a nuevas tecnologías (sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes, robots autónomos, etc)	<input type="radio"/>						
Tienen autonomía para la ejecución de sus labores	<input type="radio"/>						
Tienen competencias tecnológicas (sistemas ciberfísicos, IoT, realidad aumentada, impresión 3D, sensores inteligentes, robots autónomos, etc)	<input type="radio"/>						

Están empoderados para realizar su trabajo	<input type="radio"/>						
	<= Nunca				Siempre =>		
En la empresa se mide la satisfacción de los empleados	<input type="radio"/>						
	<= 0%						100% =>
Porcentaje de los empleados que está listo para operar en un esquema Industria 4.0	<input type="radio"/>						

Organización: Las siguientes preguntas están diseñadas para evaluar la alineación organizacional para la adopción de I4.0. Por favor seleccione una opción y conteste todas las preguntas.

	<= Nunca						Siempre =>
La empresa...	1	2	3	4	5	6	7
Tiene estructuras organizacionales para operar los procesos en un contexto de I4.0	<input type="radio"/>						
Tiene estructuras organizacionales para gestionar los procesos en un contexto de I4.0	<input type="radio"/>						
	<= 0%						100% =>
La gestión se hace a través de la estructura organizativa	<input type="radio"/>						
La gestión se hace a través de la estrategia del negocio	<input type="radio"/>						
La empresa está transformando su estructura para operar como Industria 4.0	<input type="radio"/>						

C. Impacto de la Industria 4.0. IMP-I40.

Esta sección está dividida en 3 categorías. Cada categoría agrupa ítems que representan el impacto de la industria 4.0. Por favor seleccione una opción que represente el grado en que está de acuerdo con este ítem.

Social: Las siguientes preguntas están relacionadas con el impacto actual o esperado en el aspecto social o de capital humano. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo con la pregunta.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
Se espera que en la empresa:	1	2	3	4	5	6	7
Se reduzca el número de empleos no calificados	<input type="radio"/>						
Se Incremente el número de empleos especializados (realizando tareas creativas e innovadoras)	<input type="radio"/>						
Aproveche la instrumentación las políticas publicas adecuadas a corto, mediano y largo plazo para la industria 4.0	<input type="radio"/>						
Aumente sus tasas de producción a pesar de la disminución en la plantilla laboral	<input type="radio"/>						

Ambiental: Las siguientes preguntas están relacionadas con el impacto actual o esperado en el medio ambiente. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está de acuerdo con la pregunta.

	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
Se espera que la implementación de I4.0...	1	2	3	4	5	6	7
Tenga un impacto en eco-eficiencia (desempeño medioambiental) en la gestión de la calidad	<input type="radio"/>						
Tenga un impacto en eco-eficiencia (desempeño medioambiental) en la optimización de proceso	<input type="radio"/>						
Tenga un impacto en eco-eficiencia (desempeño medioambiental) en ingeniería de proceso	<input type="radio"/>						
Tenga un Impacto en eco-eficiencia (desempeño medioambiental) en producto (materiales y su disposición final)	<input type="radio"/>						

Organizacional: Las siguientes preguntas están relacionadas con el impacto actual o esperado en la empresa como organización. Seleccione una opción para cada pregunta, que corresponda con el nivel al que usted está

de acuerdo con la pregunta.							
	Totalmente en				Completamente		
	<= desacuerdo				de acuerdo =>		
Se espera que la implementación de I4.0...	1	2	3	4	5	6	7
Modifique la naturaleza de la competencia	<input type="radio"/>						
Tenga un impacto en las estrategias corporativas	<input type="radio"/>						
Cause una transformación de la organización	<input type="radio"/>						
Modifique la localización de la producción manufacturera mundial	<input type="radio"/>						
Borre la distinción entre productos y servicios	<input type="radio"/>						
Genere un surgimiento de modelos de negocios nuevos	<input type="radio"/>						

D. Datos generales.

En esta sección se recopilan datos generales relacionados a la empresa y a la persona que llena el cuestionario con fines estadísticos, la información se manejará de manera anónima, ya que no se solicita el nombre de la persona y no se publicaran detalles individuales.

Nombre de la empresa: _____

Localidad:

1. Ensenada

2. Mexicali

3. Rosarito

4. Tecate

5. Tijuana

8. Otra: _____

Puesto: _____

Departamento: _____

Años en la empresa: _____

Escolaridad:

Edad: _____ Género: Femenino __ Masculino __

Fin de cuestionario.

Muchas Gracias por participar!

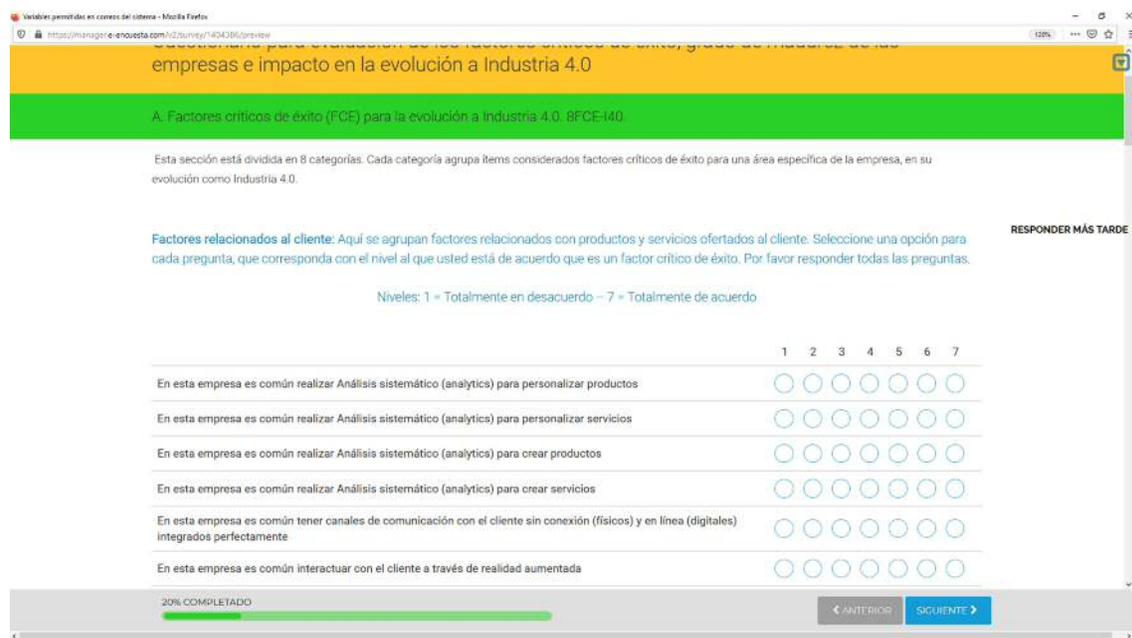
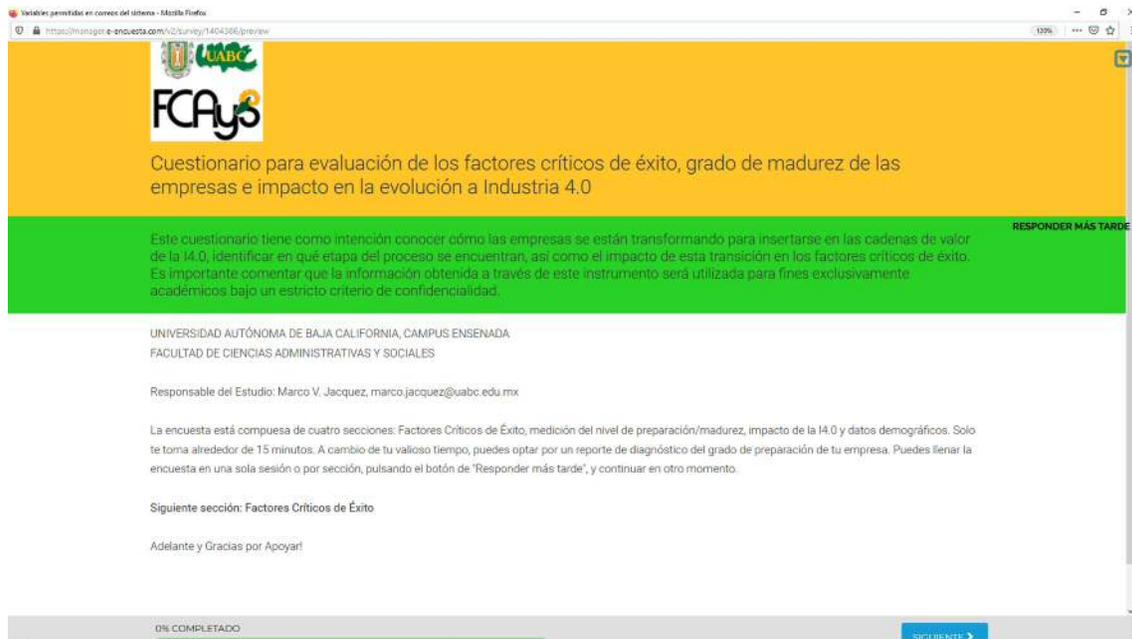
Este documento contiene información propiedad de Marco V. Jacquez. Ninguna porción de la información contenida en él podrá ser utilizada en ninguna forma sin el consentimiento escrito de Marco V. Jacquez.

Apéndice B. Enlace y capturas de pantalla del cuestionario

Enlace del cuestionario:

https://www.encuesta.com/s/aW9toVvs9nEUq6cEPGDdLw/FCE-MM-IMP_Industira4.0

Capturas de pantalla:



Apéndice C. Enlace y captura de pantalla del sitio web Industria 4.0 en B.C.

Enlace de la página: <https://www.industria40bc.com/>

Captura de pantalla:



Apéndice D. Enlace y captura de pantalla de la página de Facebook Industria 4.0 en Baja California.

Enlace de la página: <https://www.facebook.com/marcojacquezI4.0>

Captura de pantalla:

