

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. JUÁREZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INDUSTRIA 4.0: EFECTO POSITIVO EN EL VALOR AGREGADO
Y LA RELACIÓN DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES

TESIS
QUE PRESENTA

JAVIER ANTONIO LOM HERNÁNDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CD. JUÁREZ, CHIH.

OCTUBRE 18 DEL 2023



Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez



División de Estudios de Posgrado e Investigación

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Juárez, Chihuahua; siendo el día 16 del mes de 10 del año 2023, el (la) que suscribe C. Javier Antonio Lom Hernández alumno(a) del Programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, con número de control D98110682, adscrito(a) a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Adán Valles Chávez y cede los derechos del trabajo titulado Industria 4.0: Efecto positivo en el valor agregado y la relación de sus principales componentes, al Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones javierlom@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Javier Antonio Lom Hernández

Nombre y firma del alumno(a)

C. JORGE ADOLFO PINTO SANTOS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.

Por medio de la presente se hace constar que la tesis denominada **"IMPACTO POSITIVO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL VALOR AGREGADO Y SU RELACIÓN CON SUS PRINCIPALES COMPONENTES"**, presentado por el(la) alumno(a) **C. JAVIER ANTONIO LOM HERNÁNDEZ** con número de control **D98110682**, para obtener el grado de Doctor(a) en el programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, ha sido revisada y aprobada en su forma y contenido por los suscritos, por lo que no existe ningún inconveniente para la impresión de la misma.

Se extiende la presente constancia a petición de él(la) interesado(a) y para los fines legales que a él(la) convengan, en Ciudad Juárez, Chihuahua, a los veinticuatro días del mes de agosto del año dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE

"Excelencia en Educación Tecnológica"

ADÁN VALLES CHÁVEZ
DIRECTOR

ARTURO WOOCAY PRIETO
REVISOR

EDUARDO RAFAEL POBLANO OJINAGA
REVISOR

FRANCISCO ARTURO BRIBIESCAS SILVA
REVISOR

JAIME SÁNCHEZ LEAL
REVISOR

ROSA MARÍA REYES MARTÍNEZ
REVISOR

ULISES MARTÍNEZ CONTRERAS
REVISOR

C.C.B. División de Estudios de Posgrado e Investigación
Akumagiti



Av. Tecnológico 1340 Fracc. El Cauceño C.P. 32500 Cd. Juárez, Chihuahua. Tel. 01 (656) 688-2500
e-mail: comunicación_y_difusión@cdjuarez.tecnm.mx | tecnm.mx | cdjuarez.tecnm.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Ciudad Juárez, Chihuahua, **25/agosto/2023**

Oficio N°: DEPI/046/2023

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

**C. JAVIER ANTONIO LOM HERNÁNDEZ
CANDIDATO(A) AL GRADO DE DOCTOR(A) EN
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
P R E S E N T E.**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **"IMPACTO POSITIVO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL VALOR AGREGADO Y SU RELACIÓN CON SUS PRINCIPALES COMPONENTES"** ha informado a esta División de Estudios de Posgrado e Investigación, que está de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior se le autoriza se proceda con la **IMPRESIÓN DEFINITIVA DE SU TRABAJO DE TESIS.**

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Excelencia en Educación Tecnológica"

**C. JORGE ADOLFO PINTO SANTOS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares
División de Estudios Profesionales

JAPS/dmsp



DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo incondicional.

Especialmente a mi hija Nathalia, que mi esfuerzo pueda inspirarla a que encuentre su pasión. A mi esposa Teresa que me ha respaldado siempre.

A mis padres, mi madre Q.E.P.D y mi padre que ha sido mi inspiración y ejemplo desde pequeño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos mis profesores que me han formado a lo largo de mi carrera académica.

Igualmente, a todos los compañeros a lo largo de mi carrera profesional.

Mi agradecimiento a mi director y codirector de tesis, los doctores Adán Valles Chávez y Jaime Sánchez Leal, así como el resto de los miembros del comité tutorial, los doctores Rosa María Reyes Martínez, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Arturo Woocay Prieto y Francisco Arturo Bribiesca Silva, por su guía y paciencia.

RESUMEN

La Industria 4.0, debido a la creación y desarrollo de nuevas tecnologías, presenta nuevos retos, como la saturación de propuestas de proyectos, los cuales deben ser evaluados y autorizados, bajo estándares aún en desarrollo. La novedad del concepto I4.0, hace que las teorías actualmente exploradas, presenten múltiples opciones como apoyo para justificar la visión e implementación de proyectos de esta corriente.

En este trabajo se propone un modelo conceptual que evalúe la relación entre factores críticos de algunos de los conceptos utilizados en el estado del arte, como lo son: los principios de diseño, pilares, competencias tanto a nivel usuario como empresarial y estudios de madurez de empresas para desarrollarse dentro de la I4.0. Esta relación propuesta, se reflejará en un índice que permita dimensionar un proyecto en referencia a un objetivo ligado a los conceptos evaluados.

Se limitará el alcance de la investigación mediante la clasificación de las variables a utilizar y dimensionándolas utilizando algunos de los conceptos encontrados en la literatura como son los índices de madurez, los perfiles de competencias y filtrando componentes dentro de los pilares y principios. Se aplicaran herramientas estadísticas, para poder fundamentar las relaciones propuestas. Los datos de estudio se tomarán de casos de aplicación de I4.0 dentro de la industria automotriz.

El resultado esperado de este trabajo es presentar un modelo que permita justificar de manera estadística la relación de cualquier proyecto propuesto de I4.0 con respecto a los factores evaluados preestablecidos que sirva de guía en la toma de decisiones.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	XXII
LISTA DE FIGURAS	XXII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivo Específico	3
1.3. Preguntas de Investigación	4
1.4. Hipótesis	4
1.4.1. Hipótesis General	4
1.4.2. Hipótesis Particulares	4
1.5. Justificación	5
1.6. Delimitaciones	5
2. MARCO TEÓRICO	6
3. METODOLOGÍA	17
3.1. Materiales y métodos	18
3.1.1 Variables del modelo estructural	18
3.2 Universo y muestra	21
3.3 Instrumento de medición	21
3.3.1 Definición conceptual de los constructos	22
3.3.2 Diseño del cuestionario	23
3.3.3 Validez del cuestionario	24
3.3.4 Aplicación de cuestionarios	28
3.4 Modelo propuesto	28
4. RESULTADOS	30
4.1. Resultado cuantitativo	30
4.1.1 Datos adicionales	30

4.1.1.1 Años de experiencia laboral.....	30
4.1.1.2 Posición en la empresa.....	31
4.1.1.3 Giro de la empresa	32
4.1.2 Correlación entre variables	33
4.1.3 Validación estadística del modelo estructural	37
 5. RECOMENDACIONES	 52
 REFERENCIAS.....	 53
CURRÍCULUM VITAE	63

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1 Ejemplos de la Problemática Industrial y su Relación con los Pilares I4.0....	2
TABLA 2.1 Comparación entre una Empresa Actual y una Empresa 4.0	10
TABLA 3.1.1.1 Operacionalización de las variables	20
TABLA 4.1.1.1 Años de experiencia laboral	31
TABLA 4.1.1.2 Posición en la empresa	32
TABLA 4.1.1.3 Giro de la empresa.....	33
TABLA 4.1.2 Promedio de elementos del instrumento para variable PD.....	34
TABLA 4.1.3.1 Recolección de datos (codificada).....	37
TABLA 4.1.3.2 Índices de ajuste del modelo y sus criterios de aceptación.....	40
TABLA 4.1.3.3 Consolidación de índices de ajustes	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Las Cuatro Revoluciones Industriales.....	6
FIGURA 2.2 Estructura Sistema Ciber-físico	8
FIGURA 2.3 Las Cuatro Revoluciones Industriales.....	8
FIGURA 2.4 Modelo de Administración del Conocimiento Industria 4.0.....	11
FIGURA 2.5 Estrategia para Implementar Manufactura Esbelta por Medio de Industria 4.0....	13
FIGURA 2.6 Modelo Visual de Diseño Greenfield.....	13
FIGURA 2.7 Curva ROCE	14
FIGURA 2.8 Las 3 Dimensiones de Industria 4.0	14
FIGURA 2.9 Diagrama de los Componentes de un Sistema DSS.....	15
FIGURA 2.10 Perfil de competencia externo.....	16
FIGURA 2.11 Comparación de competencias generenciales.....	16
FIGURA 3.1.1.1 Modelo original propuesto	19
FIGURA 3.1.1.2 Modelo propuesto reducido	19
FIGURA 3.3.3.1 Confiabilidad del instrumento (índice Alpha de Cronbach)	27
FIGURA 3.4.1 Modelo original propuesto	29
FIGURA 3.4.2 Modelo final SPSS-AMOS	29
FIGURA 4.1.1.1 Frecuencias “Experiencia laboral”.....	31
FIGURA 4.1.1.2 Frecuencias “Posición en la empresa”	32
FIGURA 4.1.1.3 Frecuencias “Giro de la empresa”.....	33
FIGURA 4.1.2.1 Gráfica de matriz de correlaciones.....	35
FIGURA 4.1.2.2 Reporte de Minitab (correlación de las variables)	36
FIGURA 4.1.3.1 Grafico de resultados de encuesta.....	37
FIGURA 4.1.3.2 Modelo inicial evaluado SPSS-AMOS	38
FIGURA 4.1.3.3 Modelo evaluado SPSS-AMOS con índices.....	39
FIGURA 4.1.3.4 Reporte de ajuste modelo original (Modelo 1)	41
FIGURA 4.1.3.5 Evaluación de ajustes al modelo original (PD).....	42
FIGURA 4.1.3.6 Evaluación de ajustes al modelo original (PIL).....	42

FIGURA 4.1.3.7 Evaluación de ajustes al modelo original (VA)	42
FIGURA 4.1.3.8 Modelo modificado 1 evaluado en Amos	43
FIGURA 4.1.3.9 Reporte de ajuste, modelo modificado 1.....	44
FIGURA 4.1.3.10 Evaluación de ajustes al modelo modificado 1(PIL)	45
FIGURA 4.1.3.11 Evaluación de ajustes al modelo modificado 1 (VA)	45
FIGURA 4.1.3.12 Modelo modificado 2 evaluado en Amos	46
FIGURA 4.1.3.13 Reporte de ajuste, modelo modificado 2.....	47
FIGURA 4.1.3.14 Evaluación de ajustes al modelo modificado 2 (VA)	48
FIGURA 4.1.3.15 Modelo modificado 3 evaluado en Amos	49
FIGURA 4.1.3.16 Reporte de ajuste, modelo modificado 3.....	50
FIGURA 4.1.3.17 Resultados de análisis factorial confirmatorio del modelo estructural	51

1. INTRODUCCIÓN

La Industria en la actualidad, se caracteriza por su crecimiento acelerado y la diversificación de sus productos. Esto es en gran parte posible debido a los avances tecnológicos de los últimos años a partir del desarrollo del internet y la miniaturización de los componentes electrónicos. Esto abrió la puerta a empresarios a poder pensar en expansiones, personalizar la producción, mejorar el tiempo de reacción y mejorar la interacción con los clientes.

La Industria 4.0, en términos generales se ha definido como el conglomerado de tecnologías y recursos disponibles para crear entornos virtuales, digitales y ciber-físicos, permite tener procesos asistidos, mejorar la toma de decisiones y poder crear una copia digital del proceso físico para su simulación y control.

Uno de los beneficios de este fenómeno tecnológico, social e industrial, es que asocia diversas disciplinas, sectores y tecnologías, permitiendo el desarrollo en varias direcciones del conocimiento. Este desarrollo puede estar limitado por varios factores como lo son las regiones geográficas, la cultura, el nivel socio-económico, restricciones gubernamentales, nivel académico, mano de obra, entre otros. Pero esto no ha mermado el interés global en poder aprovechar las nuevas tecnologías, por lo que las aplicaciones e innovaciones en ramo crecen constantemente.

El estado del arte en este campo está en constante cambio, tanto promotores de su desarrollo como detractores de la propuesta, presentan publicaciones que ambos en su propio ámbito, demuestran que aún es tierra fértil para innovación y descubrimiento. En su contra se han presentado argumentos que previenen de un posible reemplazo de la mano de obra humana, o del costo insustentable para su implementación. Esto ha hecho a su vez que los promotores de la Industria 4.0, propongan ideas cada vez más innovadoras que permiten el avance tecnológico e industrial de la mano con la consideración del desarrollo y sustento humano. La defensa de cada uno de estos argumentos debe estar basado en el

análisis de las teorías del desarrollo e implementación de la industria 4.0, que ha ido cambiando constantemente desde que el termino fue creado en el año 2011.

1.1. Planteamiento del Problema

Al crecer exponencialmente las propuestas de implementación de proyectos en Industria 4.0, se debe fortalecer la administración de la tecnología, implementando estándares de manejo de la tecnología.

Los problemas que atacan las tecnologías que integran la industria 4.0, se ven reflejados en los 9 pilares de su desarrollo (TABLA 1.1):

TABLA 1.1. Ejemplos de la Problemática Industrial y su Relación con los Pilares de I4.0 (LOM, 2020)

Ejemplos de la problemática	Pilar en el desarrollo de I4.0
Recopilación de datos en sistemas lentos o análisis semiautomáticos	Interoperabilidad
Altos mantenimientos a sistemas robotizados	Transparencia de la información
Análisis manuales de escenarios alternos	Asistencia técnica
Procesos desconectados	Integración horizontal y vertical de sistemas
Tiempos de respuesta lentos	El Internet de las cosas industrial (IIoT)
Accesos abiertos a sistemas	Ciberseguridad
Disponibilidad de los datos	La nube
Procesos de moldeo costosos	Manufactura aditiva
Costos de operación física altos	Realidad aumentada

Los proyectos presentados para aprobación en cualquier entorno, van enfocados a resolver alguna de las problemáticas presentadas, pero para poder discernir entre los distintos proyectos y asignarles prioridad y recursos, se requiere alguna metodología estandarizada que relacione los principios de diseño en la industria 4.0 que se tengan o se quieran desarrollar, a la vez de un análisis de las competencias presentes o en desarrollo para la implementación de dichas tecnologías.

Esta investigación se enfoca en encontrar los factores de mayor influencia entre los pilares de diseño y su relación con las competencias de implementación, así como los principios de diseño. Esto nos permitirá fundamentar la relación entre estos componentes de la I4.0 y el valor agregado en términos de productividad y satisfacción laboral.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer un modelo conceptual fundamentado en la relación propuesta entre los principios de diseño, los pilares y las competencias de implementación en I4.0 que explique el efecto positivo en el valor agregado, al implementar proyectos de I4.0.

1.2.2. Objetivo Específico

Fundamentar una relación entre las principales variables relacionadas con la implementación de I4.0.

Fundamentar la relación entre los principios de diseño y el valor agregado.

Fundamentar la relación entre los pilares de I4.0 y el valor agregado.

Fundamentar la relación entre las competencias de implementación y el valor agregado.

1.3. Preguntas de Investigación

¿Se puede plantear un modelo que explique el impacto sobre el valor agregado, relacionando los índices de implementación de principios de diseño, pilares y competencias de implementación de la I4.0?

¿Un alto índice de implementación de los principios de diseño de la I4.0 tienen un impacto positivo sobre el valor agregado?

¿Un alto índice de implementación de pilares de la I4.0, tienen un impacto positivo sobre el valor agregado?

¿Un alto índice de implementación de competencias de implementación de I4.0, tiene un impacto positivo sobre el valor agregado?

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

H1: Con el modelo conceptual propuesto se puede fundamentar la elección de proyectos de I4.0 con base a la visión preestablecida sobre I4.0, relacionando los principios, pilares y competencias de implementación en I4.0

1.4.2. Hipótesis Particulares

H2: Existe una relación directa entre los principios de diseño y el valor agregado.

H3: Existe una relación directa los pilares de la industria 4.0 y el valor agregado.

H4: Existe una relación directa entre las competencias de implementación y el valor agregado.

1.5. Justificación

En los artículos revisados del estado de arte, no se encontró alguna herramienta o modelo que relacione los principios de diseño y las competencias de implementación en la Industria 4.0, para una clasificación de proyectos basada en un proceso estandarizado.

La industria se verá beneficiada con este trabajo al poder plantear un esquema bajo el cual las diversas áreas que contribuyen a la innovación, puedan plantear y defender la importancia de sus proyectos al poder definir sus características de una manera numérica y sustentada en los factores que la empresa defina como críticos.

La contribución más importante de este trabajo es enlazar dos conceptos como lo son los principios del diseño y las competencias para la implementación de proyectos, que permitirá ver el proceso de desarrollo de la Industria 4.0 bajo una nueva perspectiva con dirección y propósitos definidos.

1.6. Delimitaciones

La Investigación iniciara con una empresa automotriz de renombre mundial con presencia en la localidad, reconocida como uno de los líderes en implementación de I4.0 y se continuara con la recolección de datos en diversas localidades industriales e instituciones educativas y de investigación involucradas en el tema.

2. MARCO TEÓRICO

El término Industria 4.0, también conocido como la cuarta revolución industrial, fue presentado en la feria de Hannover en 2011, seguido de un trabajo de colaboración especial en 2012 liderado por Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) y Henning Kagermann (Academia alemana de ciencia y tecnología), presentando en 2013 los trabajos que finalizan la conceptualización de la estrategia conocida como Industria 4.0 (Hercko, 2016), aunque también se argumenta que es la respuesta de la Unión Europea a la crisis inicial del 2008 (Novakova, 2017). La cuarta revolución industrial, mostrada junto a las anteriores en la FIGURA 2.1, es diferente a las anteriores, debido a que fusiona los mundos físicos, digitales y biológicos, interactuando con todas las disciplinas, economías e industrias (Schwab, 2015).

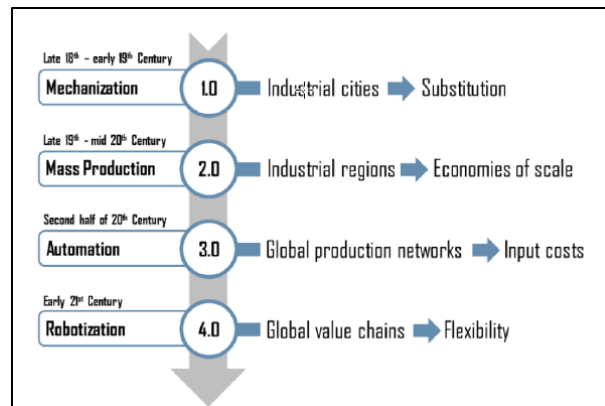


FIGURA 2.1 Las Cuatro Revoluciones Industriales (Arvind, 2016)

La industria 4.0 es descrita (Lasi y Kemper, 2014) como un proyecto futuro que tiene desarrollo en dos direcciones. La primera, definida por la demanda de aplicaciones, apoyada por el corto periodo de desarrollo, la personalización, flexibilidad, descentralización y eficiencia de recursos. La segunda, es el empuje de la utilización de tecnología en la industria. Se tienen avances pequeños como tabletas, impresoras 3D, laptops, entre otros, pero hay otros enfoques que se pueden utilizar, como incrementar la automatización y mecanización, digitalización y redes, miniaturización.

Se han identificado seis principios de diseño dentro de la Industria 4.0 (Pentek, 2016), los cuales son los fundamentos para la teoría de diseño en I4.0:

- Interoperabilidad. Habilidad de conexión y comunicación entre personas y dispositivos.
- Virtualización. Habilidad de crear copia virtual del mundo físico por medio de sensores.
- Decisiones descentralizadas. Habilidad de los sistemas de tomar sus propias decisiones y realizar actividades de manera autónoma.
- Tiempo real. Los datos son recolectados y analizados en tiempo real.
- Orientación al servicio. Los servicios de los diferentes componentes están disponibles en el Internet de Sistemas (IoS) y pueden usarse por otros.
- Modularidad. Los sistemas se pueden expandir o adaptarse añadiendo módulos individuales.

Se han identificado nueve pilares en el desarrollo de tecnología en industria 4.0 (Gerbert Phillip, 2015): Grandes Datos y análisis, robots autónomos, simulación, integración horizontal y vertical de sistemas, el internet de las cosas industrial (IIoT), Ciberseguridad, la nube, manufactura aditiva, y realidad aumentada. El efecto en cada uno de estos pilares deberá considerarse al momento de tomar una decisión de implementación (Githarti, 2016).

La utilización de los sistemas de identificación por radiofrecuencia (Segura-Velandia, 2016), permite tener una comprensión en tiempo real, que junto con sensores permiten recopilar información valiosa del proceso de producción. Esta metodología, enfrenta sin embargo, retos de estandarización. Siete categorías de estandarización (Freitag, 2015) son mencionadas como estándares generales requeridos para la Industria 4.0: Requerimientos generales, estrategia, arquitectura del sistema, casos de uso, fundamentales, propiedades no funcionales y modelos de referencia.

Los sistemas ciber-físicos, dependen de una estructura de tres niveles (Arvind, 2016), donde la estandarización de los diversos protocolos harán que las interfaces entre

diversos sistemas a través de la empresa e inclusive entre varias empresas sea posible (FIGURA 2.2).

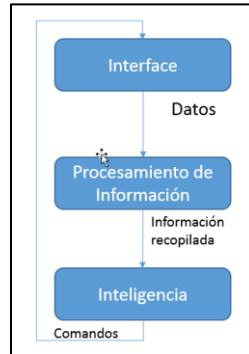


FIGURA 2.2 Estructura Sistema Ciber-físico (Arvind, 2016)

Los sistemas ciber-físicos, son parte del ciclo de información en la industria 4.0, mostrado en la FIGURA 2.3, el cual depende en gran parte de la implementación de sistemas computación visual para acceder de una manera más rápida y eficaz a la información y poder tener una mejor toma de decisiones (Posada, Toro, Barandiaran, Oyarzun, Stricker, De Amicis, Pinto, Eisert, Dollner y Vallarino, 2015).

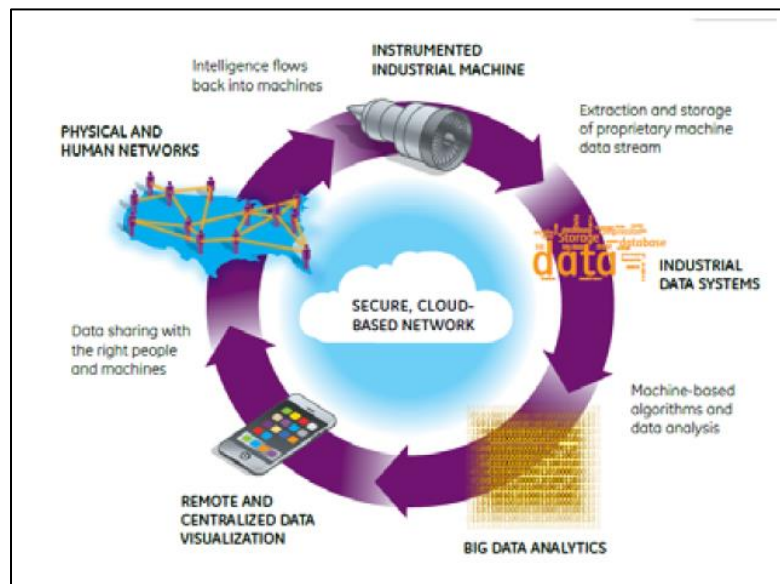


FIGURA 2.3 Círculo de Datos de Información Industrial (General Electric)

Para aprovechar la información y datos que se generan con los diversos sensores en los equipos, instituciones públicas y privadas alemanas, desarrollaron el RAMI4.0

(Reference Architecture Model Industry 4.0), que provee un vocabulario común y estructura para describir la producción (Nardello, Moller, Gotze, 2016) y que serán utilizados por los sistemas de ejecución de manufactura (MES) (Soundarapandian, Suri, Cadavid, Barosan, Van Den Brand, Alferez y Gerard, 2017). Dicho estándar fue adoptado para uso público por la IEC (International Electrotechnical Commission). Esta apertura permitirá que las organizaciones que implementen la Industria 4.0, tengan un aprendizaje acelerado y pueda compartirse con otros organismos. Esta apertura representa a la vez un riesgo, ya que existe la posibilidad que los sistemas interconectados puedan ser interceptados y controlados por un externo (Mallick, 2017). Se ha planteado el acercamiento a las instituciones educativas, para maximizar la utilización de los recursos de Industria 4.0 (Neculai, 2015). Algunas instituciones, han creado laboratorios de Industria 4.0 para investigación y desarrollo, como lo es el Laboratorio en la Universidad Aalborg, integrando y demostrando varios conceptos de Industria 4.0 (Nardello, Madsen y Moller, 2016) y la empresa de aprendizaje en investigación de elementos ciber físicos SAP/FESTO (Moller, 2016). Esto permite evaluar escenarios teóricos sobre estatus actual y futuro de una empresa candidato a proyectos de I4.0, como el mostrado en la TABLA 2.1.

El contar con acceso a información a distintos niveles del proceso, permite pensar en “productos inteligentes” (Prause y Weigand, 2016), que permitan al proceso interactuar de una manera autónoma y haga que el proceso cambie de ser centralizado a descentralizado ya que la interacción entre los productos, máquinas y humanos, se realizaría en tiempo real. Estas interacciones se pueden clasifican en cinco áreas (Waschnek, Altenmuller, Bauernhansl y Kyek, 2016), sistemas de asistencia, integración y redes, descentralización y orientación a servicio, autoorganización y autonomía, recolección y procesamiento de datos. Un punto crítico en la implementación es la definición y selección de la información realmente requerida (Dassisti, Panetto, Lezoche, Merla, Semeraro, Giovannini y Chimienti (2017).

TABLA 2.1 Comparación entre una Empresa Actual y una Empresa 4.0 (Lee, 2014)

Fuente de datos	Industria Actual		Industria 4.0		
	Atributos	Tecnologías	Atributos	Tecnologías	
Componente	Sensor	Precisión	Sensores inteligentes y detección de fallas	Consciente de sí mismo	Predicción de tiempo de vida útil restante y monitoreo de degradación
				Auto Predictivo	
Maquina	Controlador	Producibilidad y desempeño	Diagnóstico y monitoreo basado en las condiciones	Consciente de sí mismo	Tiempo activo con monitoreo de estatus
				Auto Predictivo	
				Auto comparado	
Sistema de Producción	Sistema Conectado	Productividad y OEE	Operaciones lean: Reducción de trabajo y desperdicio	Auto Configurado	Productividad libre de preocupaciones
				Auto mantenido	
				Auto organizado	

La ingeniería de sistemas basada en modelos (MSBE), es un factor clave para la implementación de los estándares identificados (Wortmann, 2017), que a su vez han detectado algunos obstáculos para su desarrollo, como lo son la transición a interfaces estables, el monitoreo simultaneo de cientos de equipos y dispositivos, la consistencia en las diferentes versiones de software y autoconfiguraciones, asimilación de grandes algoritmos de datos y tecnologías. Estos retos, representan un factor económico importante al momento de tomar una decisión al momento de implementar o no un proyecto de Industria 4.0. Al mismo tiempo, el internet de las cosas permite que todo el alto volumen de información adquirido pueda transformarse en conocimiento que podemos aplicar en nuestro beneficio, por lo que la administración del conocimiento toma una posición relevante dentro de la I4.0 como se muestra en la FIGURA 2.4.

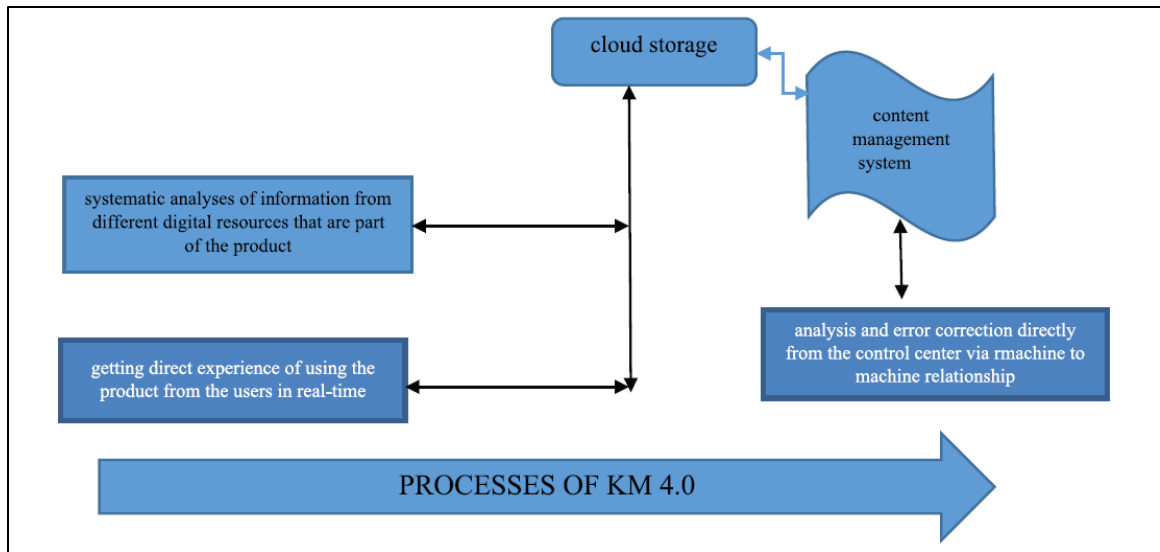


FIGURA 2.4 Modelo de Administración del Conocimiento Industria 4.0 (Roblek, 2016)

Sin embargo, al hablar de Industria 4.0, se tiene incertidumbre, ya que, a diferencia de las revoluciones industriales anteriores, esta se conoce antes del hecho, es decir, está en desarrollo y cuenta con tres supuestos (Drath, 2014):

- La infraestructura para comunicación de sistemas de producción, será más económica con el tiempo.
- Los dispositivos, maquinas, planta, e inclusive productos, estarán interconectados.
- Dichos dispositivos, tendrán la habilidad de guardar documentos e información acerca de si mismos, fuera de su estructura física dentro de la red de producción.

Algunos se preguntan porque se procede con este tipo de implementaciones cuando los elementos han existido por años. Factores clave como la capacidad de monitoreo simultaneo y almacenamiento en nube, son algunos detonantes para esta revolución (Gilchrist, 2016). Algunos estudios hechos al impacto de Industria 4.0, critican la falta de rigor metodológico y que aunque seguramente se tendrá un crecimiento económico, la inversión necesaria cancelaria cualquier crecimiento económico (Pfeiffer, 2017). Esto a su vez, hace que las personas piensen que en realidad en lugar de un beneficio sea perjudicial para su estabilidad económica. Es por eso que diversos organismos, como el Instituto para la investigación del empleo (IAB), el Instituto de Investigaciones en Estructura Económica

(GWS) y otros, se han dedicado a evaluar el impacto de la implementación de la industria 4.0 (Weber, 2016), evaluando diversos factores y efectos, principalmente el desempleo y creación de nuevos trabajos, por lo que al momento de realizar la implementación a nivel empresa, es probable que se tengan restricciones gubernamentales, para asegurar la estabilidad de la fuerza laboral. Para compensar algunas de estas restricciones, las empresas pueden acudir a programar de reentrenamiento de personal existente, para poder balancear la pérdida de empleos directos con la creación de empleos de especialización (Sommer 2015). Entrenamientos en los diferentes métodos para extraer datos y texto servirán para incrementar las competencias en informática aplicada a sus áreas laborales (Gunther, 2017). Al no contar con fuerza laboral suficiente aun después de las estrategias de entrenamiento, algunas empresas emplean diversas estrategias de inmigración (SMIT, Krautzer, Moeller, Carlberg, 2016).

La Industria 4.0 puede tener una relación con la manufactura esbelta (De Vasconcelos y Linard, 2017), lo cual ayuda al momento de promover la implementación de dicha estrategia. Un factor que influye en que se decida continuar o no con la implementación de dichos proyectos, depende también del tamaño de la empresa (Schröder, 2017). Un ejemplo de la estrategia que combina I4.0 y Lean Manufacturing se puede apreciar en la FIGURA 2.5. Se puede requerir financiamiento por parte de organismos nacionales, ya que algunas empresas pudieran no tener capacidad financiera para adaptarse a las nuevas tendencias (ITI, 2016). La implementación de Industria 4.0, sigue un modelo de hélice cuádruple, donde el gobierno, la industria, instituciones educativas y participantes civiles, crean el futuro más allá de lo que pudiera un individuo (Kopp, Howaldt, Schultze, 2016). Usando el concepto de innovación abierta, las empresas reciben ayuda para poder utilizar datos tanto estructurados como no estructurados (Montanus, 2009).

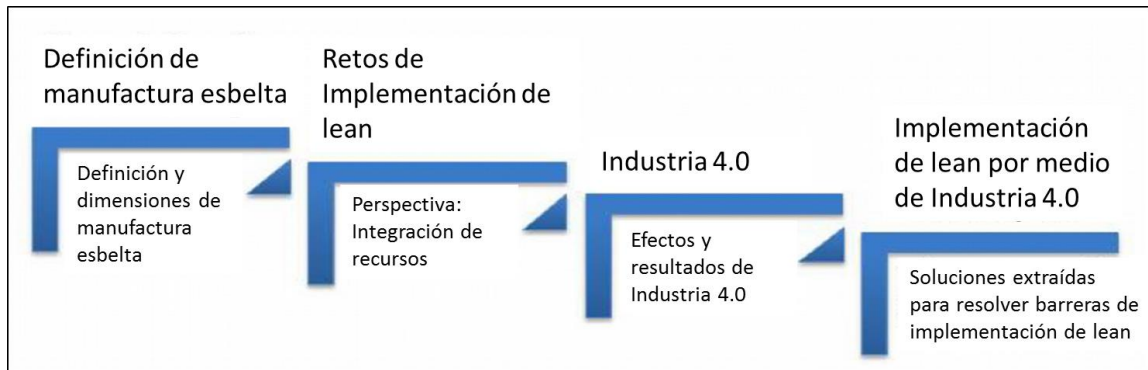


FIGURA 2.5 Estrategia para Implementar Manufactura Esbelta por medio de Industria 4.0 (Sanders, 2016)

Adicional a esto, se tienen métodos para determinar la madurez de una empresa para embarcarse en la cuarta revolución industrial (Schumacher, Erol y Sihm, 2016). Otro punto de vista para tomar la decisión si implementar o no Industria 4.0 es la utilización de métodos visuales que permitan entender los factores presentes en la empresa como el nivel de aplicaciones, automatización, conocimiento, para poder desarrollar Industria 4.0 (FIGURA 2.6).

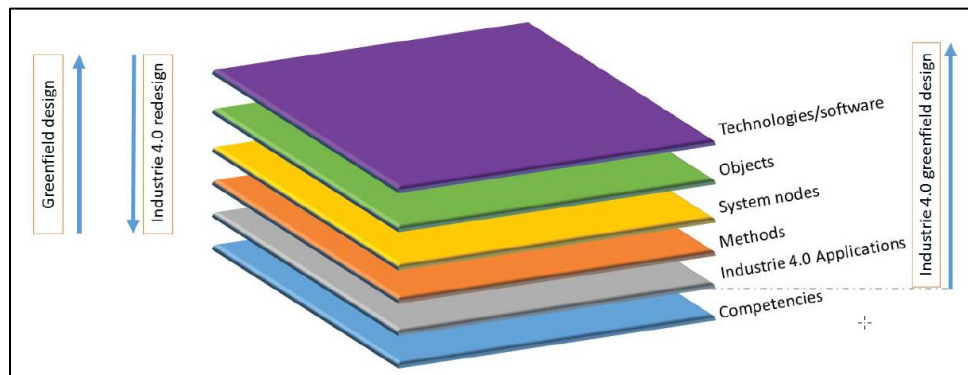


FIGURA 2.6 Modelo Visual de Diseño Greenfield (Du Plessis, 2017)

Aparte de los volúmenes de datos, un problema actual es la velocidad de los datos, ya que se quiere alcanzar la velocidad a la cual se produce, lo cual requerirá mejores sensores, a la vez que mejor infraestructura de redes de datos (Hill, Devitt, Anjum, Ali, 2017). Los modelos de negocio podrían ser impactados indirectamente de acuerdo a los

sistemas ciber-físicos utilizados (Akeson, Sweden, 2016). Los efectos más perceptibles actualmente son las relaciones con el cliente, canales de distribución y colaboraciones y asociaciones que se establecen de acuerdo a la especialización. En general, indirectamente afectarían a los nueve componentes de los modelos de negocio (Toor, 2017) (Relaciones, clientes, canales de distribución, modelo de ganancias, estructura de costos, competencias, configuración del valor, redes de colaboración y propuesta del valor). La manera de pensar de las industrias cambia al analizar la implementación de industria 4.0, por lo que se puede hablar de distintos tópicos, desde ROCE (Return on Capital Employed) (FIGURA 2.7), que nos describe el balance entre la automatización, la labor intensa y la industria 4.0, las tres dimensiones de la industria 4.0 (Integración horizontal, Ingeniería de fin a fin, e integración vertical de los sistemas) (FIGURA 2.8).

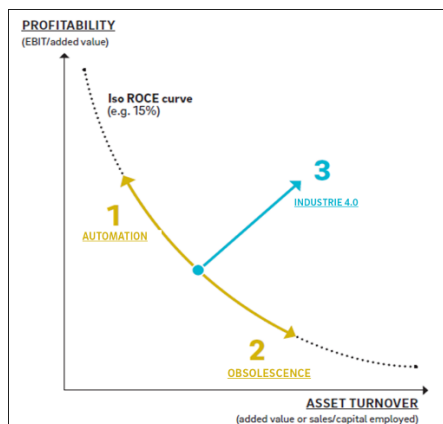


FIGURA 2.7 Curva ROCE (Berger, 2016)

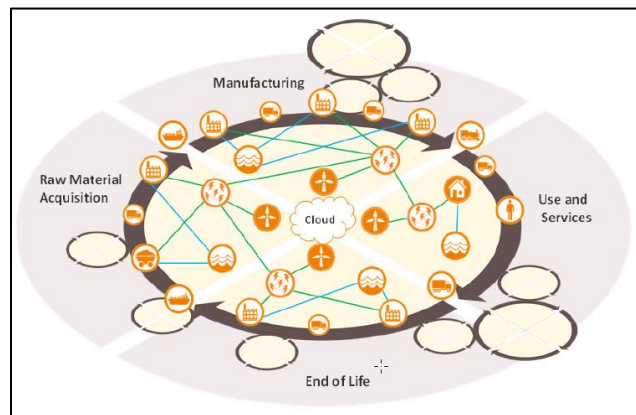


FIGURA 2.8 Las 3 Dimensiones de Industria 4.0 (Stock, 2016)

La integración horizontal se refiere a la digitalización y conexión tanto inter compañía como entre varias (FIGURA 1.5). La Ingeniería fin a fin, se refiere a la integración y digitalización de las diferentes fases del producto, desde la adquisición de materia prima hasta el fin de vida del producto. La integración vertical, se refiere a la integración y digitalización a través de los diferentes niveles de creación de valor en actividades como ventas, desarrollo e Ingeniería. Al concluir las diversas integraciones, los sistemas ciber-físicos ayudan a los sistemas de soporte de decisiones (DSS) (FIGURA 2.9).

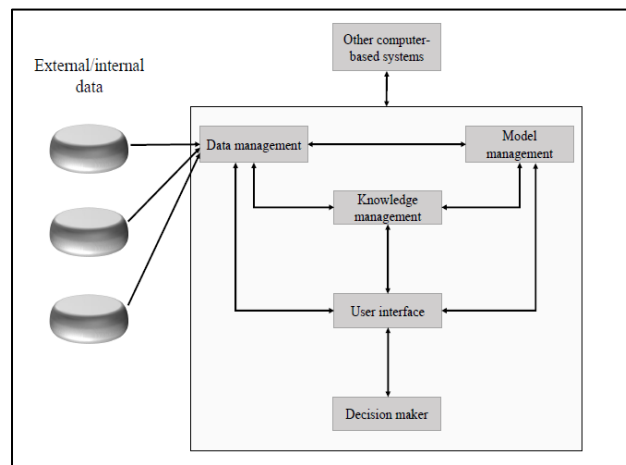


FIGURA 2.9 Diagrama de los Componentes de un Sistema DSS (Kern, Reiner y Bluder, 2016)

Nuevas oportunidades de desarrollo se presentan al combinar la Industria 4.0 y manufactura esbelta, por lo que nuevas competencias tanto en la fuerza laboral como en los modelos de negocios son necesarias para alcanzar el máximo potencial de estas implementaciones (Judith Enke, 2018).

Se ha determinado que se requiere de un conjunto de competencias tanto individuales como organizacionales para poder desarrollar con éxito la implementación de Industria 4.0 (FIGURA 2.10). Estas competencias serán el punto clave del desarrollo laboral en un futuro, incrementando la mano de obra especializada en todos los niveles (FIGURA 2.11).

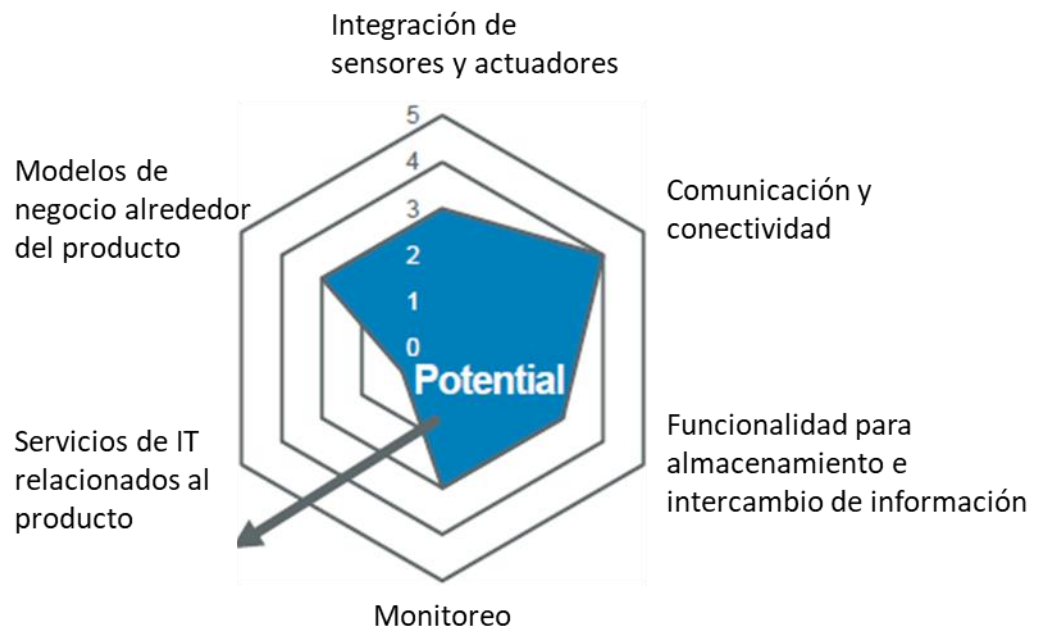


FIGURA 2.10 Perfil de Competencia Externo (Anderl, 2015)

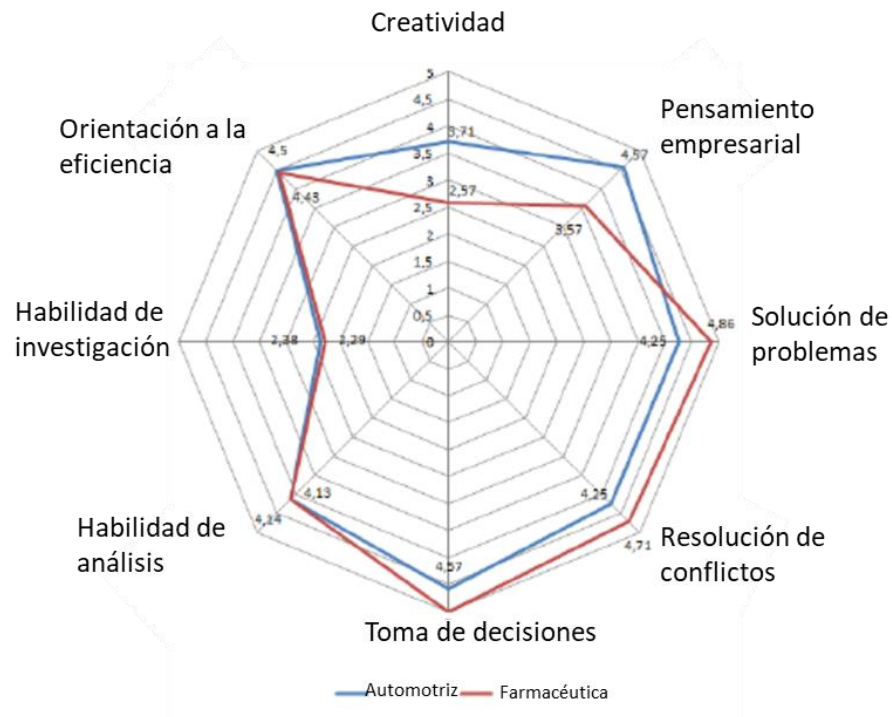


FIGURA 2.11 Comparación de Competencias Gerenciales (Grzybowska, 2017)

3. METODOLOGÍA

En esta investigación, usando la metodología de tipo cuantitativa, se tomarán de los grupos de conceptos planteados en el marco teórico como variables latentes: Pilares, Principios de diseño, Madurez de la empresa para la implementación de I4.0 y Competencias individuales como empresariales para el desarrollo de la misma. Durante la revisión del estado del arte se encontraron algunas ya dimensionadas por medio de índices, como la madurez empresarial para la implementación de la I4.0 y en otros casos se tendrá que desarrollar un índice o una clasificación que nos permita integrarlas en el modelo propuesto.

Como parte cuantitativa, se aplica un instrumento (cuestionario), enfocado a medir las variables latentes mencionadas. Se utilizarán herramientas como Minitab, SPSS y SPSS-AMOS, para validar el instrumento y el diseño del modelo estructural.

En la validación del instrumento, se utilizó la prueba de validez de contenido utilizando el método Lawshe (1975) y la confiabilidad se validó usando el coeficiente alfa de Cronbach, recomendado para instrumentos con escala de Likert (Whitley, 2002, Robinson 2009).

En esta sección se explica el método utilizado para determinar los factores o sub-variables a evaluar en el modelo estructural. Se enlistan también los materiales, técnicas y herramientas utilizadas para la investigación, la población explorada y la muestra. También los pasos en el diseño del cuestionario y su validación.

3.1. Materiales y métodos

Los materiales utilizados en esta investigación cuantitativa fueron:

- Instrumento de medición (cuestionario).
- Programa estadístico Minitab, SPSS y SPSS-AMOS para el diseño del modelo estructural y el análisis confirmatorio.
- Revisión de la literatura

3.1.1 Variables del modelo estructural

Las variables latentes analizadas fueron,

Exógenas:

- Principios de diseño (6 dimensiones).
- Pilares de la industria 4.0 (9 dimensiones).
- Competencias individuales como empresariales para el desarrollo de I4.0 (2 dimensiones)

Endógenas:

- Valor agregado (3 dimensiones).

En la FIGURA 3.1.1.1, se aprecia el modelo original propuesto con todas sus dimensiones. De acuerdo con la experiencia del investigador en I4.0 aplicada en el sector automotriz y la revisión de la literatura, se decidió eliminar dimensiones llegando a un modelo propuesto reducido (FIGURA 3.1.1.2)

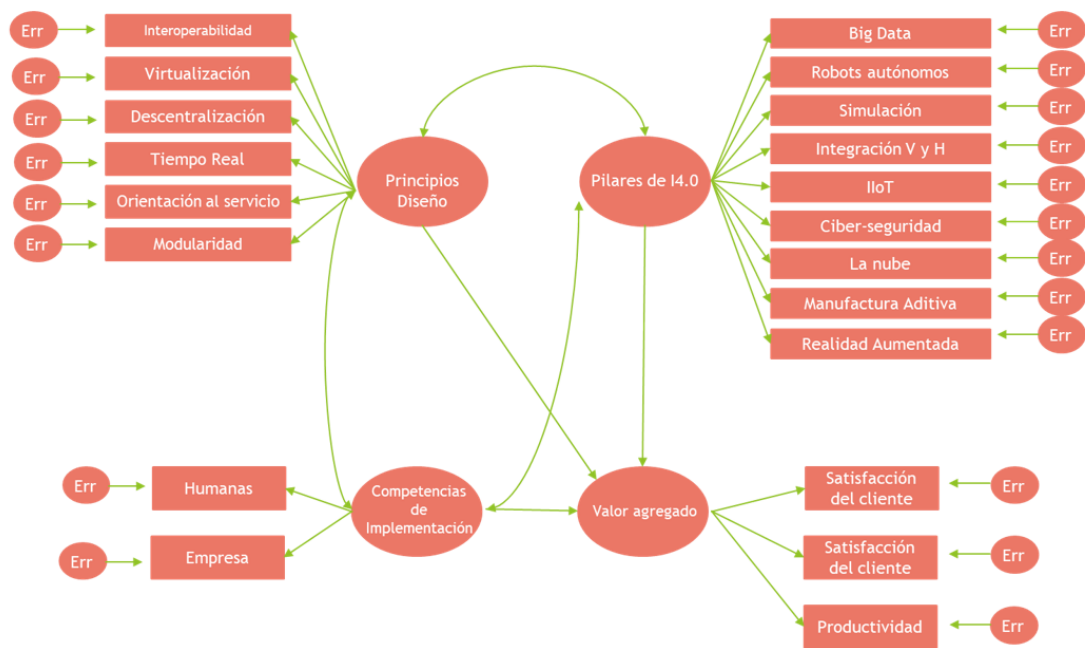


FIGURA 3.1.1.1 Modelo original propuesto (elaboración propia)

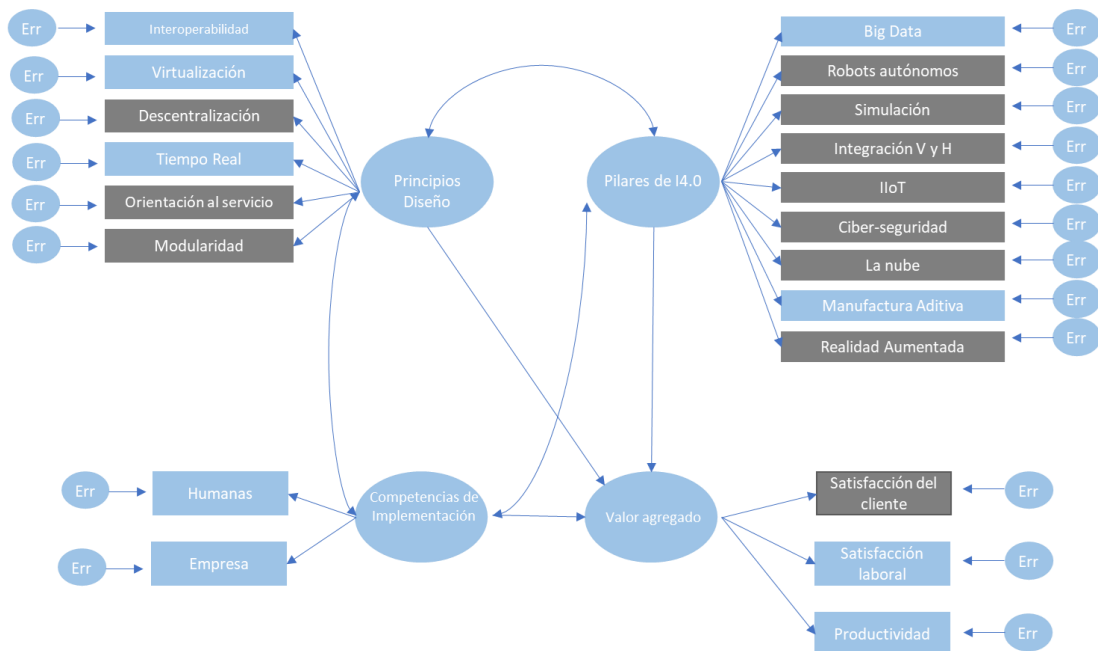


FIGURA 3.1.1.2 Modelo propuesto reducido (elaboración propia)

En la TABLA 3.1.1.1 se presentan las variables y su operacionalización para su mejor entendimiento.

TABLA 3.1.1.1 Operacionalización de las variables (elaboración propia)

Factores del modelo estructural reducido propuesto					
Variable latente	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Intervalos
Principios de diseño en I4.0	Conjunto de guías y conceptos estandarizados enfocados a ayudar a los diseñadores de sistemas y aplicaciones a realizar proyectos I4.0 de una forma sustentable	Lineamientos estandarizados utilizados por las empresas consideradas en el instrumento para el desarrollo sustentable de I4.0	Interoperabilidad	Pregunta 1	Escala de Likert 1 al 6
			Virtualización	Pregunta 2	Escala de Likert 1 al 6
			Capacidad de tiempo real	Pregunta 3	Escala de Likert 1 al 6
			General	Preguntas 4-8	Escala de Likert 1 al 6
Pilares de I4.0	Áreas de la tecnología enfocadas a potencializar la digitalización y la conectividad	Tecnologías aplicadas en las empresas evaluadas	Big Data	Pregunta 9	Escala de Likert 1 al 6
			Manufactura aditiva	Pregunta 10	Escala de Likert 1 al 6
			General	Preguntas 11 a 14	Escala de Likert 1 al 6
Competencias necesarias para la madurez en I4.0	Competencias individuales y empresariales consideradas necesarias para poder llevar de forma eficiente y sustentable proyectos I4.0	Competencias presentes en las empresas e individuos evaluados	Internas	Preguntas 15 a 18	Escala de Likert 1 al 6
			Externas	Preguntas 19 a 25	Escala de Likert 1 al 6
Valor Agregado	Valor adquirido al implementar I4.0	Valor adquirido en perspectiva de los individuos que contestaron el cuestionario	Satisfacción laboral	Pregunta 26	Escala de Likert 1 al 6
			Productividad	Pregunta 27	Escala de Likert 1 al 6
			General	Preguntas 28 a 34	Escala de Likert 1 al 6

3.2. Universo y muestra

El universo para esta investigación son las empresas maquiladoras del sector automotriz en la región fronteriza de México (Juárez-El Paso). Al aplicar el instrumento, se obtuvo la participación de más de 50 empresas de la localidad. La mayoría de las empresas que respondieron la encuesta son reconocidas dentro de la región con más de una nave industrial y más de 500 empleados por unidad.

La unidad de análisis dentro de la muestra, son los encargados líderes o de apoyo en la implementación de proyectos de industria 4.0. El tamaño de muestra en este caso debido al tema (I4.0), es de importancia, ya que estaremos considerando un valor ≥ 100 como mínimo ($N=121$ en este estudio). El mínimo absoluto para un análisis factorial exploratorio, puede considerar $N=50$ como mínimo absoluto (De Winter, J. C. F., Dodou, D, Wieringa, P.A., 2009).

3.3. Instrumento de medición

En su artículo de sobre las futuras formas de recolección de datos del año 2011, Couper comienza describiendo el cambio a través de la historia de los diversos métodos, comenzando por Deming (1944), pasando por la nomenclatura de las técnicas de obtención de información, y las transformaciones tecnológicas de los años 60 y 70, llegando al uso del Internet y el incremento de la velocidad de respuesta, así como el alcance geográfico. El incremento de la complejidad de dichas técnicas nos obliga a pensar seriamente en la elección de la herramienta correcta, tanto para eficiencia de ejecución, así como la calidad de los resultados. En esta investigación, se elige la herramienta del cuestionario, usando el Internet como medio de distribución en masa, mediante la plataforma de Google Forms, en la cual se elaboró el cuestionario y se recibe mediante la misma plataforma los resultados ya en forma de tabla para el proceso subsecuente de los datos.

3.3.1 Definición conceptual de los constructos

Entender las variables exógenas evaluadas, nos permite diseñar en forma eficiente los elementos del cuestionario. En el marco teórico se establecieron y describieron en forma breve. Las definiciones conceptuales de las variables latentes utilizadas se mencionan a continuación:

Principios de diseño de la I4.0

La interoperabilidad, la virtualización, descentralización, las capacidades en tiempo real, orientación al servicio, la modularidad y un séptimo (Habib, 2019), Ecodiseño, son considerados las guías que los arquitectos y diseñadores de las estructuras base para los proyectos I4.0 consideran necesarios mantener en un nivel suficiente para el desarrollo sustentable de dichos proyectos.

Pilares de la I4.0

Las tecnologías disruptivas que se formaron a partir de la integración entre las tecnologías operativas y las de información (OT/IT), fomentan en desarrollo sustentable de la I4.0. Dichas tecnologías, podrían evaluarse en tres dimensiones, acceso, analfabetismo digital y contenido (Servon, 2002).

Competencias de implementación I4.0 (Internas/Externas)

Los requerimientos tanto individuales, así como los identificados como necesarios para una empresa para el desarrollo de proyectos I4.0, pueden ser clasificados como internos o externos (Anderl, 2015).

Las competencias internas, serian la preparación técnica necesaria para que un individuo pueda de manera eficaz liderar, implementar y administrar proyectos de I4.0 de forma sustentable.

Las competencias externas, serian el listado de requerimientos que una compañía debe cubrir para poder implementarse proyectos de I4.0 en la misma.

Valor agregado

La variable endógena evaluada se dimensiona en satisfacción laboral y en productividad. Estas dos dimensiones se centran en la gente y su respuesta hacia los proyectos de I4.0 y en el aumento cuantitativo de la producción como resultado esperado.

3.3.2 Diseño del cuestionario

Después de definir los factores/variables a utilizar en el modelo estructural, se procede a revisar la literatura en búsqueda de un instrumento que cubra con el análisis de las variables seleccionadas. Al no tener resultado en esta búsqueda, se procede a la elaboración del cuestionario.

Se definió una selección de 34 preguntas que basándome en la experiencia adquirida en la implementación de proyectos de I4.0 y la retroalimentación de expertos (gerentes involucrados en los proyectos de implementación de I4.0). El cuestionario tuvo una validación inicial con 11 panelistas de esta categoría. Las preguntas tienen una escala de Likert con 6 grados que hacen referencia a las variables latentes con las dimensiones restantes después de la eliminación inicial.

El instrumento (cuestionario), utilizado, aborda las variables latentes de alcance en los principios de diseño, el enfoque en los pilares de I4.0, las competencias para su implementación y su efecto en el valor agregado de la empresa, utilizando escala de Likert par (1 al 6), para evitar la inclinación de tendencia central que puede resultar cuando el evaluador no quiere presentar una respuesta hacia un extremo (Pimentel, 2019).

3.3.3 Validez del cuestionario

El enfoque de criterio para establecer la validez de contenido involucra los siguientes pasos (Taherdoost, 2016): Revisión exhaustiva de la literatura, encuesta de escala de 3 puntos donde se evalúa lo esencial que es el elemento dentro del instrumento, teniendo a los panelistas expertos, calculando con estos resultados el índice CVR, el cual indicara si un elemento debe ser retirado del instrumento.

La validez del cuestionario fue realizada por 11 gerentes de la empresa objetivo, encargados de implementar proyectos de I4.0 en sus unidades de negocio o de los departamentos de especializados de soporte para los mismos, basándonos en las recomendaciones de Taherdoost 2016, utilizando el índice CVR (Lawshe, 1975) para cada pregunta del mismo.

$$CVR=[Ne - (\frac{N}{2})]/[N/2]$$

Donde N es el número total de panelistas, Ne es el número de panelistas que indican que la pregunta es esencial. Con N=11, el valor mínimo de CVR es 0.59 (Ne >=8).

Los índices CVR se pueden ver al final de cada uno de los elementos del instrumento:

Principios de Diseño de I4.0 (Interoperabilidad, virtualización, tiempo real).

- 1.- El establecer comunicación entre personas y dispositivos es importante para lograr los objetivos de la compañía a largo plazo. CVR=1
- 2.- El obtener retroalimentación en tiempo real del estado de los sistemas, es crítico para la toma de decisiones. CVR=1
- 3.- El reproducir virtualmente los sistemas es una inversión necesaria para lograr los objetivos de la compañía. CVR=0.64
- 4.- El lograr un acceso multi-usuario y de puntos de acceso variado, debe ser una de las prioridades al momento de considerar el objetivo de un proyecto de I4.0. CVR=0.82

5.- El tomar en cuenta diversos principios de diseño al momento de considerar el objetivo de un proyecto de I4.0, nos permite tener flexibilidad de soporte a largo plazo. CVR=0.64

6.- El nivel de alcance que se pueda lograr dentro de los principios de diseño, no está limitados entre sí. CVR=0.64

7.- El maximizar el alcance de un principio de diseño es importante, aun cuando no se utilice en toda su capacidad, ya que permitirá absorber futuras implementaciones a un menor costo. CVR=0.64

8.- El alcance de los principios de diseño dentro de un proyecto de I4.0, es un factor importante del valor agregado de la empresa. CVR=0.64

Pilares de I4.0 (Big Data, manufactura aditiva).

1.- El manejo correcto de Big Data es importante para la productividad. CVR=1

2.- El poder crear estructuras en 3D con manufactura aditiva, creara oportunidades de disminución de costos y tiempo de espera. CVR=0.64

3.- Al implementar un proyecto de I4.0, se puede considerar más de un pilar. CVR=1

4.- El costo de implementación puede superar el retorno de la inversión para algunos pilares. CVR=1

5.- Actualmente se cuenta con proyectos de I4.0 implementados dentro de la empresa que consideran más de un pilar. CVR=0.64

6.- El alcance dentro de los pilares se ve altamente limitado por el conocimiento técnico de los recursos existentes. CVR=0.64

7.- El alcance dentro de los pilares se ve altamente limitado por el concepto de infraestructura previo a la introducción de I4.0. CVR=1

8.- Se debe considerar el estado actual de un principio de diseño en particular al momento de pensar en el alcance que tendrán los pilares seleccionados para un proyecto de I4.0. CVR=0.64

Competencias de Implementación I4.0 (Externas/Internas)

1.- Se tiene un departamento de I4.0 dedicado en la empresa. CVR=1

2.- El perfil del ingeniero de I4.0 tiene competencias específicas para dicha función. CVR=0.64

- 3.- La creatividad es una de las competencias consideradas en dicho perfil. CVR=0.64
- 4.- La habilidad de investigación es considerada en dicho perfil. CVR=0.64
- 5.- Se tiene un plan de integración de sensores y actuadores dentro de la empresa. CVR=0.82
- 6.- Se tiene un plan a largo plazo de conectividad dentro de la empresa. CVR=1
- 7.- Las inversiones en conectividad y almacenamiento de datos están ligadas a un plan de implementación de proyectos de I4.0. CVR=1
- 8.- Las competencias de la empresa para implementar proyectos de I4.0 tienen un efecto importante en el alcance que se pueda tener dentro de los principios de diseño. CVR=0.64
- 9.- Se revisa periódicamente el estado de la empresa con respecto a su capacidad para implementar proyectos de I4.0. CVR=1
- 10.- Las competencias de la empresa para implementar proyectos de I4.0 tienen un efecto importante en cuales pilares se pueden abarcar dentro de la empresa. CVR=0.64

Valor agregado (Considerando satisfacción laboral y productividad).

- 1.- Los proyectos de I4.0 tienen un efecto importante para la satisfacción laboral. CVR=0.64
- 2.- Los proyectos de I4.0 tienen un efecto importante para la productividad. CVR=1
- 3.- El informar al personal sobre los detalles de los proyectos de I4.0, permite una rampa acelerada con mejores resultados. CVR=0.82
- 4.- El mantener al cliente informado de los avances en I4.0 contribuye a la retención del mismo. CVR=0.64
- 5.- La implementación de proyectos de I4.0 inclusive fuera de la línea de producción, contribuye al incremento de la productividad. CVR=1
- 6.- Los proyectos de I4.0 deben tener un retorno de la inversión rápido. CVR=0.64
- 7.- En la empresa se cuenta con un plan de implementación de I4.0, considerando reasignación de recursos. CVR=1
- 8.- El personal directo tiene un nivel de conocimiento homogéneo de los beneficios de la I4.0. CVR=1
- 9.- Se tienen requerimientos por parte del cliente para proyectos de I4.0. CVR=0.64

La confiabilidad de la encuesta será determinada utilizando el coeficiente Alpha de Cronbach, el cual es una medida para poder también evaluar la repetibilidad. Esto permitirá a subsecuentes investigadores o lectores del presente trabajo volver a reproducir los resultados (Schmelkes, C., Elizondo, N., 2010).usando Minitab, obtenemos el siguiente reporte:

Omitted Variable	Adj. Total Mean	Adj. Total StDev	Item-Adj. Total Corr	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
PD1	175.8	154.1	0.8198	0.9848	0.9944
PD2	175.8	154.1	0.8183	0.9867	0.9944
PD3	176.1	154.1	0.9434	0.9799	0.9940
PD4	176.2	154.1	0.9059	0.9849	0.9941
PD5	175.8	153.9	0.9231	0.9912	0.9941
PD6	176.4	154.7	0.9159	0.9726	0.9941
PD7	176.1	154.3	0.9743	0.9839	0.9940
PD8	175.9	153.9	0.9390	0.9889	0.9941
Pil1	175.7	153.9	0.8782	0.9914	0.9942
Pil2	176.1	154.2	0.9768	0.9828	0.9940
Pil3	175.9	154.0	0.9140	0.9903	0.9941
Pil4	176.4	154.9	0.9448	0.9531	0.9941
Pil5	176.4	154.8	0.9680	0.9679	0.9940
Pil6	176.3	154.5	0.9698	0.9832	0.9940
Comp1	176.2	154.3	0.9686	0.9857	0.9940
Comp2	176.8	155.8	0.7843	0.9180	0.9944
Comp3	176.3	154.7	0.9363	0.9766	0.9941
Comp5	176.0	154.3	0.9671	0.9848	0.9940
Comp6	176.0	154.3	0.9593	0.9877	0.9940
Comp7	176.5	155.3	0.8533	0.9606	0.9943
Comp8	176.3	154.6	0.9763	0.9842	0.9940
Comp9	176.2	154.6	0.9724	0.9869	0.9940
Comp10	176.1	154.3	0.9827	0.9905	0.9940
Comp11	176.5	155.0	0.8704	0.9750	0.9942
Comp12	176.1	154.2	0.9529	0.9891	0.9940
Val1	176.1	154.5	0.9645	0.9838	0.9940
Val2	175.9	154.1	0.9324	0.9823	0.9941
Val3	176.0	154.3	0.9593	0.9850	0.9940
Val4	176.0	154.2	0.9815	0.9851	0.9940
Val5	176.6	155.2	0.8362	0.9628	0.9943
Val6	176.6	155.1	0.8675	0.9786	0.9942
Val7	176.8	155.7	0.7581	0.9665	0.9945
Val8	176.7	155.3	0.8372	0.9742	0.9943
Val9	176.5	155.6	0.9494	0.9571	0.9941

Cronbach's
Alpha
Alpha
0.9943

FIGURA 3.3.3.1 Confiabilidad del instrumento (índice Alpha de Cronbach)

Se analizaron 34 preguntas, referentes a los principios de diseño, pilares de la I4.0 y competencias en relación al valor agregado, obteniendo un índice Alpha de Cronbach de 0.9943 (FIGURA 3.3.3.1), lo cual muestra una consistencia interna alta (Whitley, 2002, Robinson, 2009).

3.3.4 Aplicación de cuestionarios

Al evaluar las opciones para aplicación del cuestionario, se analizó:

1. La aplicación en persona, restringida en algunos casos por cuestiones de secreto profesional y el tiempo disponible tanto del encuestado como del investigador. A pesar de las ventajas que tiene el contacto directo como el poder aclarar cualquier duda en el momento, el trabajo involucrado al procesar los datos recopilados sería bastante, tomando en cuenta el volumen de respuestas.
2. El enviar el cuestionario por correo electrónico también se evaluó como estrategia, siguiendo los pasos utilizados durante la evaluación del instrumento, pero la administración de las respuestas, así como el dar seguimiento al llenado es complicado.
3. Las encuestas en línea, fueron la estrategia elegida para la recopilación de datos en esta investigación. Utilizando Google Forms, se logra llegar a más personas, al mismo tiempo, pueden llenarlo en el horario de su preferencia, y las respuestas son procesadas a través de una hoja de Cálculo. La pérdida del contacto personal se espera ver reflejada en algunas respuestas que pudieran interpretarse de forma distinta dependiendo del nivel de alfabetismo digital.

3.4 Modelo propuesto

El modelo estructural originalmente propuesto pretende evaluar todas las dimensiones identificadas durante la revisión de la literatura y evaluación del instrumento (FIGURA 3.4.1). Después de evaluar cada dimensión, se decidió eliminar los que se consideraron no esenciales (al igual que con el instrumento original). El resultado de la eliminación se puede observar ya diseñado en el software SPSS AMOS (FIGURA 3.4.2).



FIGURA 3.4.1 Modelo original propuesto

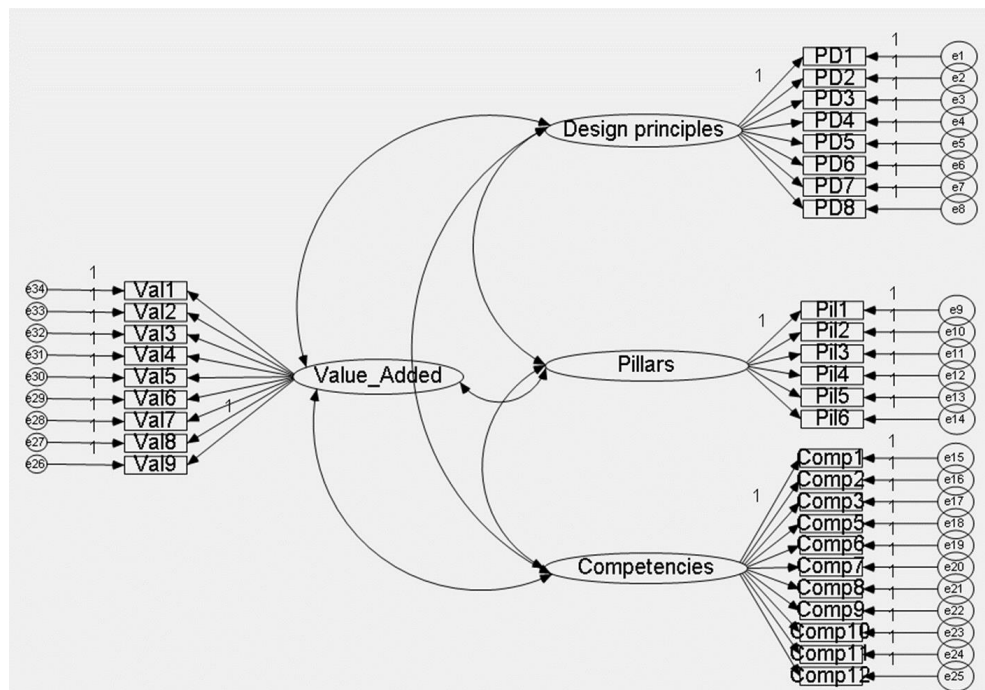


FIGURA 3.4.2 Modelo final SPSS-AMOS

4. RESULTADOS

4.1. Resultado cuantitativo

Como se menciona en el capítulo anterior, se recolectaron los datos utilizando como instrumento una encuesta por internet, en la cual se logró una respuesta de 121 encuestas con la participación de 62 empresas del giro de manufactura industrial y automotriz. En contexto, en Ciudad Juárez, a enero del 2023, se contaba con 330 empresas maquiladoras, con más del 50% de origen estadounidense.

4.1.1 Datos adicionales

Se incluyeron de forma adicional a los elementos que medirán las variables latentes, las siguientes preguntas para mayor contexto:

1. Años de experiencia laboral
2. Posición en la empresa
3. Giro dentro de la empresa

4.1.1.1 Años de experiencia laboral

Se considero importante el saber los años de experiencia, para tratar de entender si las empresas prefieren tener a gente muy experimentada participando en la transformación digital, o toman un enfoque de desarrollo profesional, o en realidad se toma el alcanzar el éxito digital como un esfuerzo a todos los niveles. Los datos mostrados en la TABLA 4.1.1.1, nos indica que el personal con experiencia mayor a 10 años tiende a estar involucrado en la implementación de proyectos de I4.0 con un 41%.

TABLA 4.1.1.1 Años de experiencia laboral (Elaboración propia)

Experiencia (Años)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0 a 2	31	26%	26%
3 a 5	21	17%	43%
5 a 10	19	16%	59%
>10	50	41%	100%
Total	121		

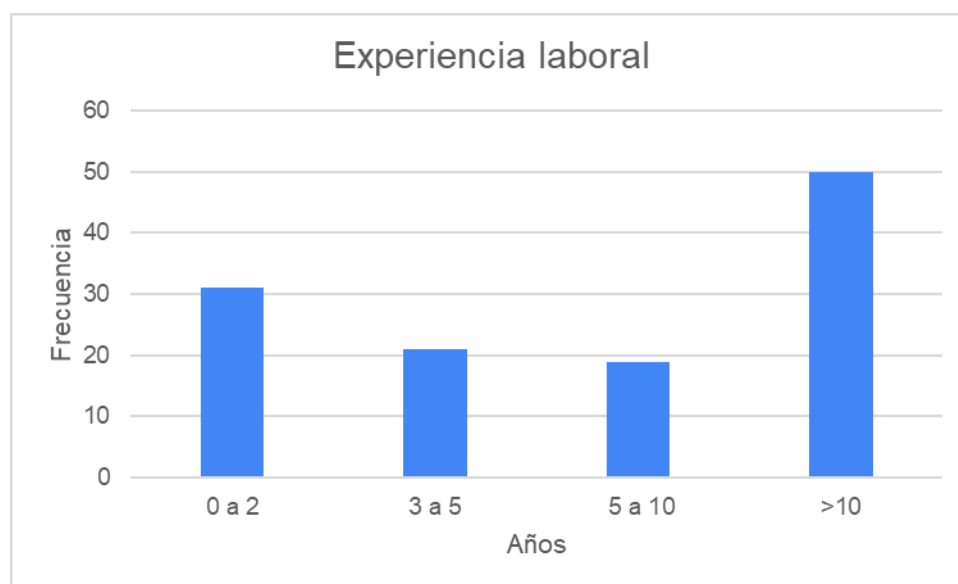


FIGURA 4.1.1.1 Frecuencias “Experiencia laboral” (Elaboración propia)

4.1.1.2 Posición en la empresa

La posición dentro de la empresa de las personas que contestaron la encuesta muestra varios niveles, ya que los proyectos tienden a involucrar a distintos departamentos con actividades a varios niveles dentro de la empresa. En la TABLA 4.1.1.2 podemos apreciar que el nivel de Ingeniero sobresale con un 50%, pero la gerencia y alta gerencia están involucrados a su vez, con un notable 28% acumulado. Los datos de frecuencia de ven graficados en la FIGURA 4.1.1.2.

TABLA 4.1.1.2 Posición en la empresa (Elaboración propia)

Puesto	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Alta Gerencia	5	4%	4%
Gerencia	24	20%	24%
Supervisor/Ingeniero	61	50%	74%
Técnico	31	26%	100%
Total	121		



FIGURA 4.1.1.2 Frecuencias “Posición en la empresa” (Elaboración propia)

4.1.1.3 Giro de la empresa

Aunque el enfoque está planteado pensando en la industria automotriz, se puede observar algunas empresas de otros giros (como la industria medica), pero el instrumento mantiene su valor, ya que los proyectos de I4.0 aplicados en este tipo de empresas, siguen los mismos lineamientos. La TABLA 4.1.1.3 muestra al sector automotriz con un 69% de las encuestas, y el sector de servicios complementa en un 26% para llegar a un acumulado de 94%. Los datos de frecuencia se ven graficados en la FIGURA 4.1.1.3.

TABLA 4.1.1.3 Giro de la empresa (Elaboración propia)

Giro	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Automotriz	83	69%	69%
Servicios	31	26%	94%
Otros	7	6%	100%
Total	121		

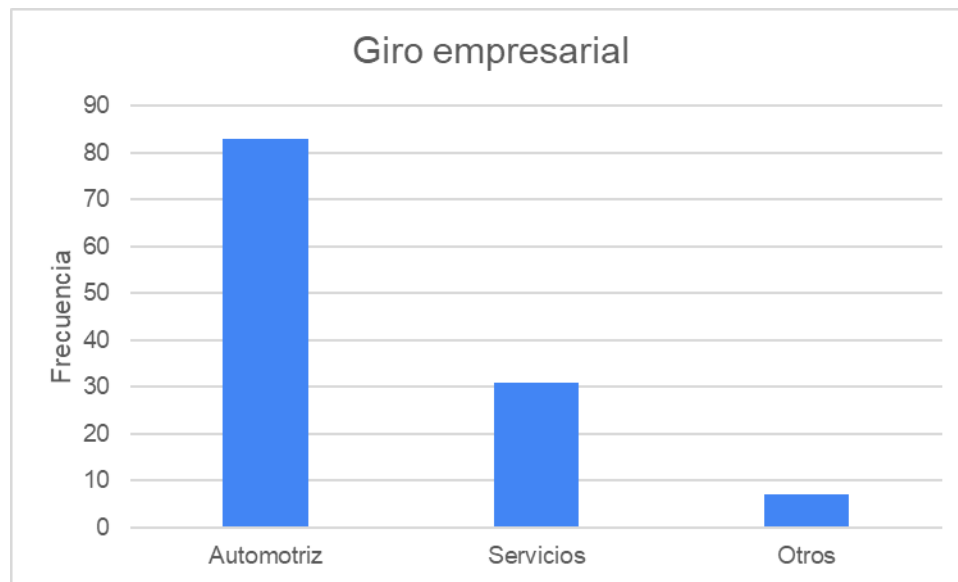


FIGURA 4.1.1.3 Frecuencias “Giro de la empresa” (Elaboración propia)

4.1.2 Correlación entre variables

Se realiza un estudio de correlación entre las variables utilizando el software Minitab. Como cada variable tiene diferente cantidad de elementos en el instrumento con el que fueron medidas, se hace un promedio por participante. La TABLA 4.1.2 muestra una parte del proceso con la variable Principios de diseño (PD).

TABLA 4.1.2 Promedio de elementos del instrumento para variable PD (Elaboración propia)

	Principios de Diseño								
Dimensiones	InOp	TR	VR	Descent.	Gral				Promedio
Item	1	2	3	4	5	6	7	8	
Encuesta 1	1	1	1	1	2	2	3	4	1.875
Encuesta 2	6	5	5	5	5	4	5	4	4.875
Encuesta 3	3	4	2	4	5	5	4	4	3.875
Encuesta 4	6	6	4	5	5	5	2	4	4.625
Encuesta 5	4	5	5	5	5	5	4	4	4.625
Encuesta 6	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Encuesta 7	6	5	5	4	5	5	5	5	5
Encuesta 8	6	6	6	6	6	4	5	6	5.625
Encuesta 9	1	2	1	3	2	2	1	3	1.875
Encuesta 10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Encuesta 121	6	5	4	5	4	4	4	5	4.625

Cuando ya se cuenta con todos los promedios por variable por participante, se procede a sacar la correlación entre las mismas. Se utiliza Minitab, y se obtiene la FIGURA 4.1.2.1, que muestra la gráfica de matriz de correlaciones.

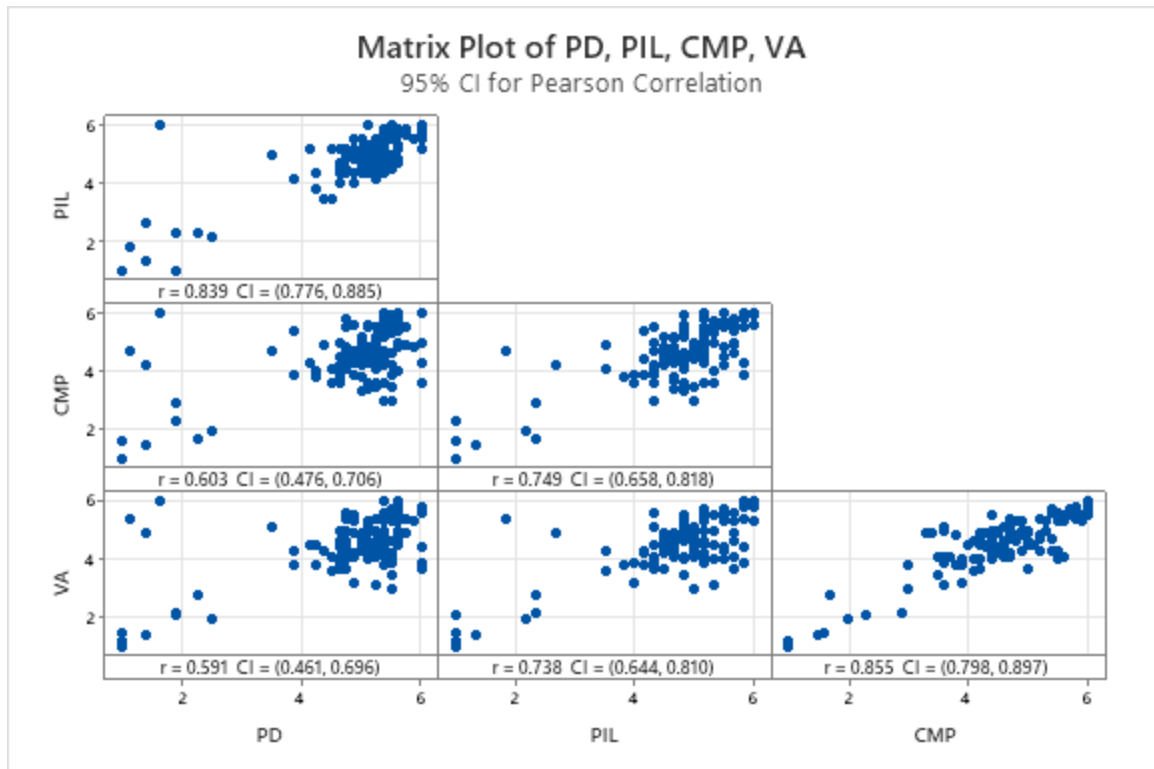


FIGURA 4.1.2.1 Gráfica de matriz de correlaciones (Elaboración propia).

Se puede observar que todas las correlaciones son positivas, por lo que a mayor cantidad de una, mayor el desempeño de la otra. Se puede observar que la variable competencias, guarda una mejor correlación con la variable valor agregado $r=0.855$, mientras que la variable PD muestra la menor correlación $r=0.591$. En la FIGURA 4.1.2.2 se puede observar el reporte de correlación de Minitab, donde podemos ver la correlación entre las variables exógenas en pares. Se puede notar que las correlaciones que involucran a PD son bajas, esto puede estar relacionado con la baja penetración del concepto en el estado del arte.

Method

Correlation type Pearson
Number of rows used 121

p: pairwise Pearson correlation

Correlations

	PD	PIL	CMP
PIL	0.839		
CMP	0.603	0.749	
VA	0.591	0.738	0.855

Pairwise Pearson Correlations

Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
PIL	PD	121	0.839	(0.776, 0.885)	0.000
CMP	PD	121	0.603	(0.476, 0.706)	0.000
VA	PD	121	0.591	(0.461, 0.696)	0.000
CMP	PIL	121	0.749	(0.658, 0.818)	0.000
VA	PIL	121	0.738	(0.644, 0.810)	0.000
VA	CMP	121	0.855	(0.798, 0.897)	0.000

FIGURA 4.1.2.2 Reporte de Minitab (correlación de las variables) (Elaboración propia).

4.1.3 Validación estadística del modelo estructural

El objetivo principal de esta investigación es la creación de un modelo estructural que explique la relación de las tres variables exógenas propuestas (Principios de Diseño (PD), Pilares I4.0 (PIL) y Competencias (CMP)), entre sí y como afectan la variable endógena Valor Agregado (VA). Este modelo fue presentado al inicio del capítulo 3, en la FIGURA 3.1.1.1. Después de revisión extensiva de la literatura y basado en la experiencia del investigador se redujeron dimensiones de tres de las variables latentes analizadas. Se procedió a la publicación del instrumento a través del cuestionario presentado en el capítulo 3, generando con la tabla de respuestas obtenida de Google Forms la TABLA 4.1.3.1, con los resultados codificados para su proceso. La FIGURA 4.1.3.1 nos muestra gráficamente cada uno de los ítems del cuestionario, donde podemos apreciar particularidades, como el ítem 18, donde se plantea la creatividad como competencia a considerar en el perfil para manejo de proyectos de I4.0.

TABLA 4.1.3.1 Recolección de datos (codificada) (Elaboración propia, Extracto).

PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8	PD9	PD10	PD11	PD12
1.-El establecer comunic	2.- El obtener retroaliment	3.- El lograr un acceso mu	4.- El reproducir virtualme	5.- El tomar en cuenta div	6.- El nivel de alcance qu	7.- El maximizar el alcanc	8.- El alcance de los prin	9.- El manejo correcto de	10.- El poder crear estruct		
1	1	1	1	1	2	2	3	4	1	1	1
6	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5
3	4	2	4	5	5	5	4	4	4	4	4
6	4	4	5	5	5	5	2	4	4	5	5
4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	6	6
6	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4
6	6	6	6	6	6	4	5	6	6	5	5

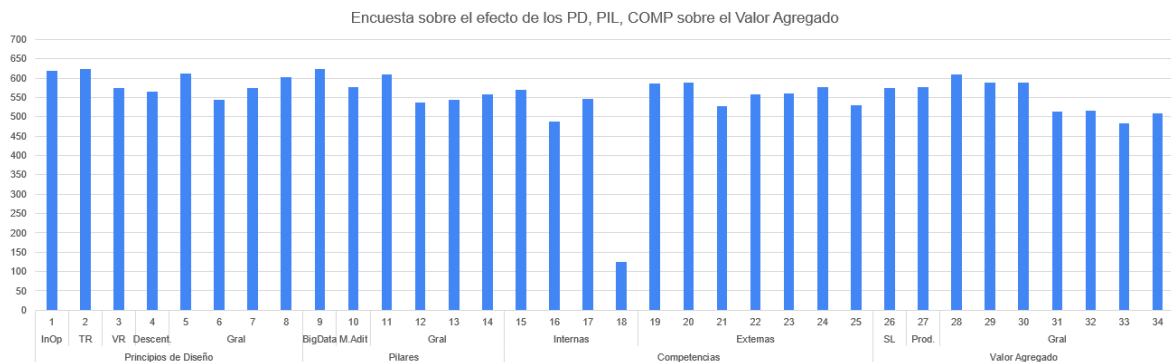


FIGURA 4.1.3.1 Grafico de resultados de encuesta (Elaboración propia)

En la FIGURA 4.1.3.2, podemos ver el primer modelo a ser evaluado en el software SPSS-AMOS26 mediante el análisis factorial confirmatorio (Arbuckle, 1995).

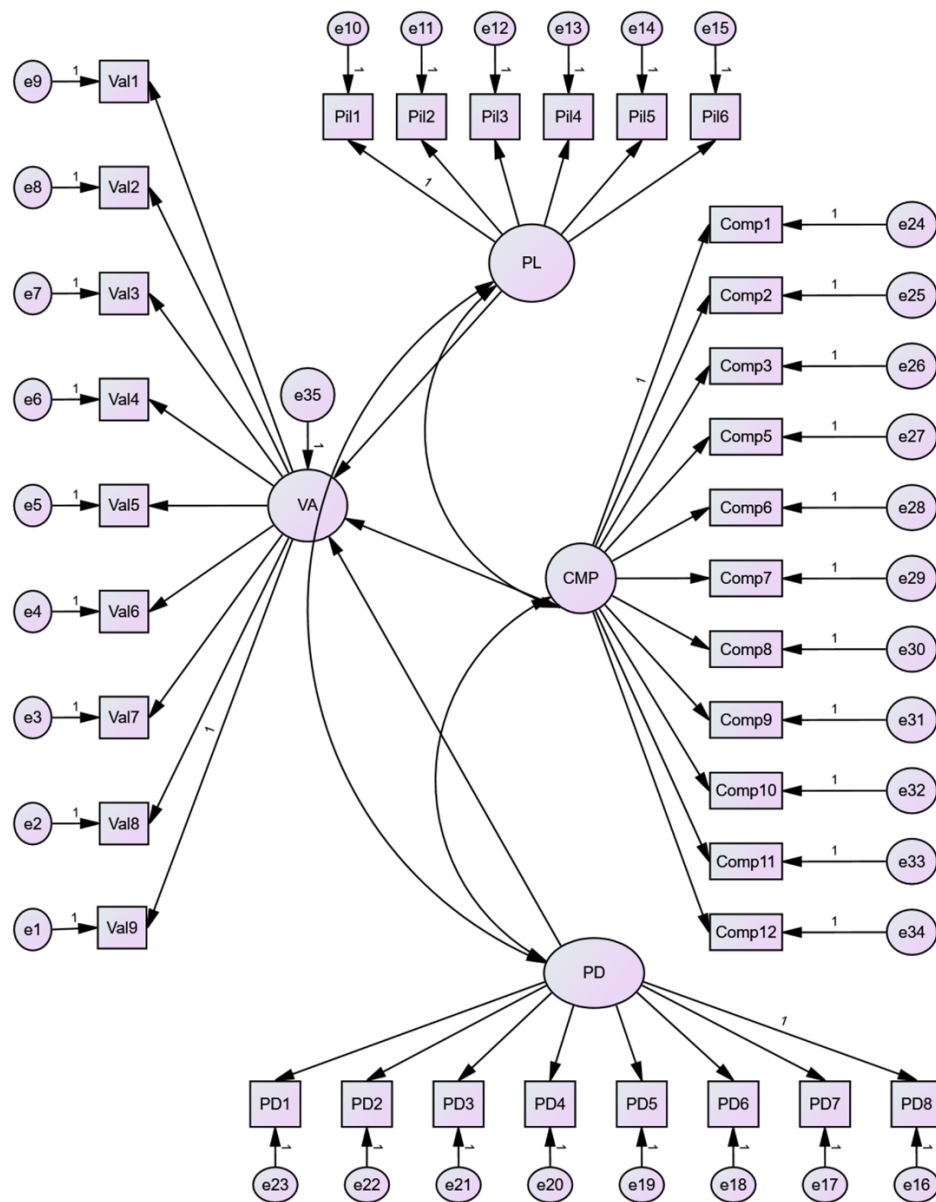


FIGURA 4.1.3.2 Modelo inicial evaluado SPSS-AMOS (Elaboración propia)

Al correr el análisis factorial confirmatorio, nos arroja un listado de índices los cuales se consolidan en la TABLA 4.1.3.3, la desviación con respecto al objetivo puede explicarse por el tamaño de muestra utilizado, ya que tanto el tema de

TABLA 4.1.3.2 Índices de ajuste del modelo y sus criterios de aceptación (Elaboración propia)

Parámetros	Descripción	Objetivo para tener un modelo adecuado	Notas
Chi-Cuadrada	Mide la distancia entre la matriz de datos observada y la planteada por el modelo	Pvalue>0.05	Sensible al tamaño de muestra
RMSEA	Expresa la cantidad de variabilidad que no puede ser explicada por el modelo, por grado de libertad	RMSEA<0.05	0.08<RMSEA<0.1 marginal (MacCallum et al, 1996)
CFI	Indice de ajuste comparativo	CFI>=0.9	0.08<value<0.9 marginal (Costa, V., Sarmento, R.,2019)
TLI	Indice de Tucker Lewis	TLI>=0.9	0.08<value<0.9 marginal (Costa, V., Sarmento, R.,2019)
NFI	Indice de ajuste normalizado	NFI>=0.9	0.08<value<0.9 marginal (Costa, V., Sarmento, R.,2019)
PRATIO	Ration de Parsimonia	PRATIO>=0.9	Se busca el mejor ajuste con menos complejidad
PCFI	Indice fijo de parsimonia comparativo	PCFI>=0.9	
PNFI	Indice fijo de parsimonia normalizado	PNFI>=0.9	
AIC	Criterio de informacion Akaike	Bajo es mejor	Mientras más bajo sea el valor mejor

Al correr el modelo original en SPSS-Amos, obtenemos el siguiente reporte de índices de ajuste (FIGURA 4.1.3.4).

Notes for Model (Default model)

Computation of degrees of freedom (Default model)

Number of distinct sample moments: 629
Number of distinct parameters to be estimated: 108
Degrees of freedom (629 - 108): 521

Result (Default model)

Minimum was achieved
Chi-square = 1136.719
Degrees of freedom = 521
[Probability level = .000](#)

Model Fit Summary

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	108	1136.719	521	.000	2.182
Saturated model	629	.000	0		
Independence model	34	4287.445	595	.000	7.206

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.735	.697	.837	.810	.833
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.876	.643	.730
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	615.719	522.171	716.993
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	3692.445	3488.242	3903.994

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	9.473	5.131	4.351	5.975
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	35.729	30.770	29.069	32.533

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.099	.091	.107	.000
Independence model	.227	.221	.234	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC	CAIC
Default model	1352.719	1441.660		
Saturated model	1258.000	1776.000		
Independence model	4355.445	4383.445		

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	11.273	10.493	12.117	12.014
Saturated model	10.483	10.483	10.483	14.800
Independence model	36.295	34.594	38.058	36.529

HOELTER

Model	HOELTER	HOELTER
	.05	.01
Default model	61	64
Independence model	19	19

FIGURA 4.1.3.4 Reporte de ajuste modelo original (Modelo 1).

Un análisis preliminar nos indica que el modelo está arrojando valores marginales, por lo que se evaluarán algunos ajustes al modelo para revisar si mejoran estos índices. Los índices seleccionados, serán consolidados en la TABLA 4.1.3.3, para poder determinar después de algunas iteraciones, cual modelo explica apropiadamente los datos. Una vez recopilada la información del primer modelo, se procede a evaluar las correlaciones bajas en el modelo para evaluar posibles cambios. En las FIGURAS 4.1.3.5, 4.1.3.6 y 4.1.3.7, evaluamos posibles eliminaciones con respecto al modelo original.

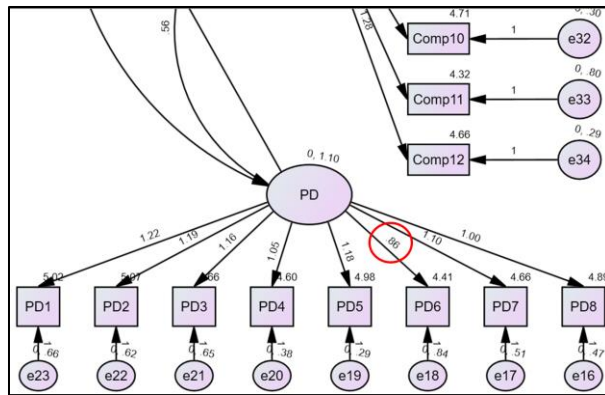


FIGURA 4.1.3.5 Evaluación de ajustes al modelo original (PD) (Elaboración propia)

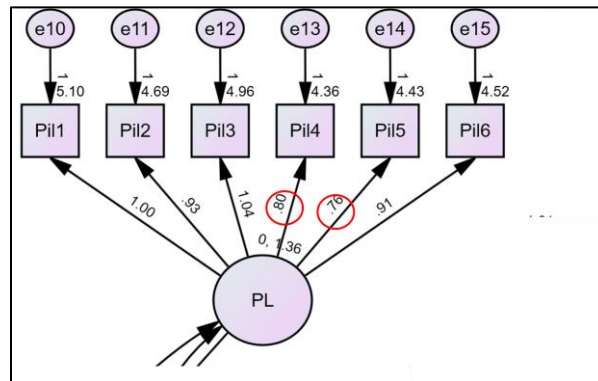


FIGURA 4.1.3.6 Evaluación de ajustes al modelo original (PIL) (Elaboración propia)

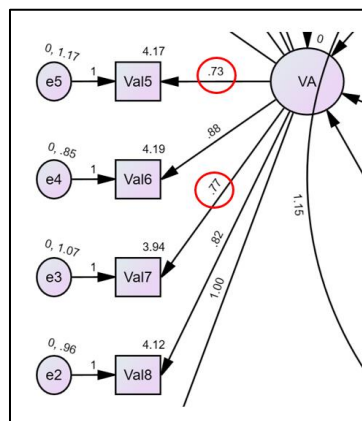


FIGURA 4.1.3.7 Evaluación de ajustes al modelo original (VA) (Elaboración propia)

Las dimensiones de las tres variables son modificadas y evaluadas, para obtener el diagrama de la FIGURA 4.1.3.8 (modelo modificado 1).

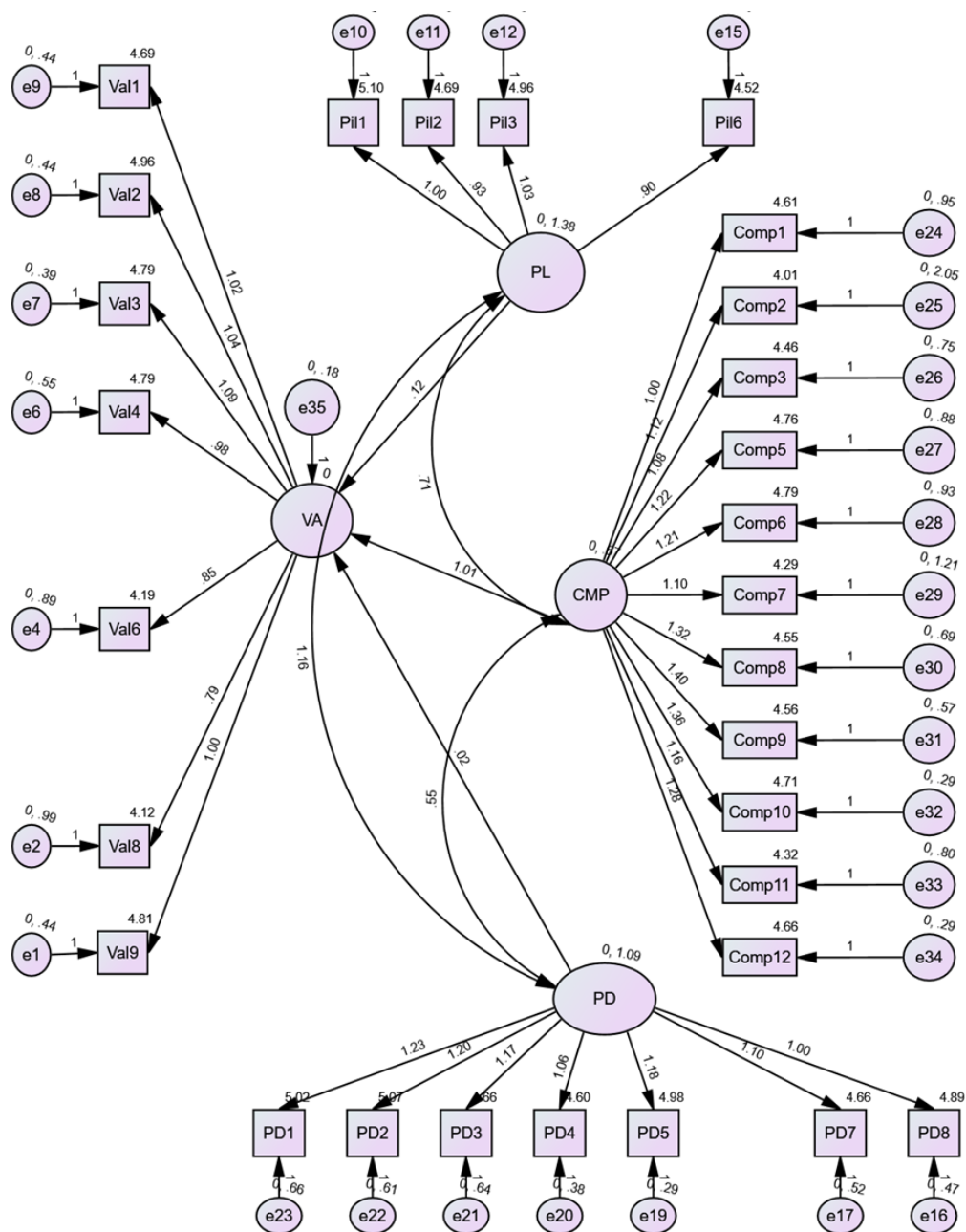


FIGURA 4.1.3.8 Modelo modificado 1 evaluado en Amos (Elaboración propia)

Al evaluar el modelo en Amos, se obtiene el reporte de ajustes (FIGURA 4.1.3.9), donde se evaluarán los índices antes propuestos.

Notes for Model (Default model)

Computation of degrees of freedom (Default model)

Number of distinct sample moments:	464
Number of distinct parameters to be estimated:	93
Degrees of freedom (464 - 93):	371

Result (Default model)

Minimum was achieved
Chi-square = 858.085
Degrees of freedom = 371
Probability level = .000

Model Fit Summary

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	93	858.085	371	.000	2.313
Saturated model	464	.000	0		
Independence model	29	3724.278	435	.000	8.562

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.770	.730	.855	.826	.852
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.853	.656	.727
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	487.085	405.589	576.288
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	3289.278	3098.069	3487.834

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	7.151	4.059	3.380	4.802
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	31.036	27.411	25.817	29.065

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.105	.095	.114	.000
Independence model	.251	.244	.258	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC CAIC
Default model	1044.085	1106.085	
Saturated model	928.000	1237.333	
Independence model	3782.278	3801.612	

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	8.701	8.022	9.444	9.217
Saturated model	7.733	7.733	7.733	10.311
Independence model	31.519	29.926	33.174	31.680

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	59	62
Independence model	16	17

FIGURA 4.1.3.9 Reporte de ajuste, modelo modificado 1 (Elaboración propia)

Al notar los índices de ajuste aún marginales, se revisa que otras dimensiones o ítems se pueden eliminar (FIGURAS 4.1.3.10, 4.1.3.11).

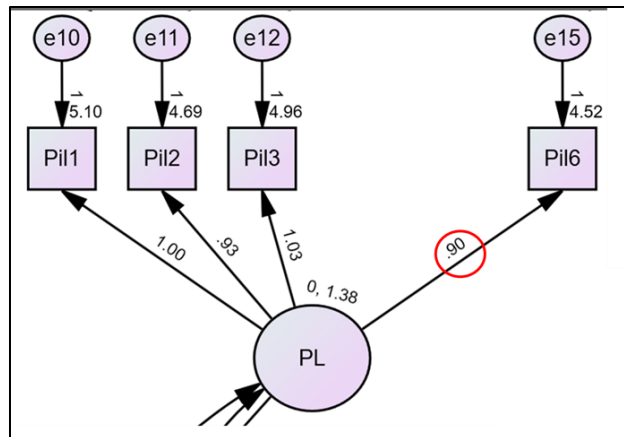


FIGURA 4.1.3.10 Evaluación de ajustes al modelo modificado 1(PIL) (Elaboración propia)

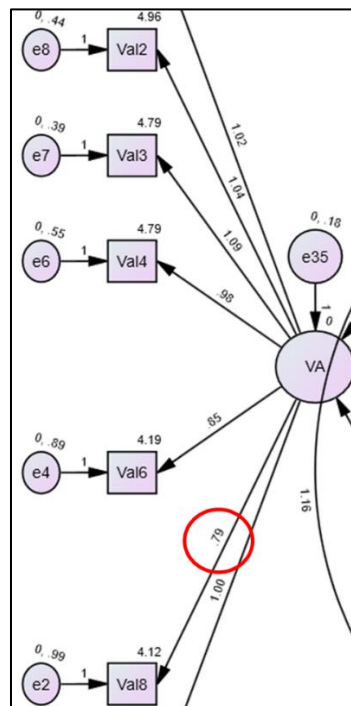


FIGURA 4.1.3.11 Evaluación de ajustes al modelo modificado 1 (VA) (Elaboración propia)

Al tener indicadores marginales todavía, procedemos a evaluar otra iteración para intentar ajustar mejor el modelo lo que resulta en el modelo modificado 2 (FIGURA 4.1.3.12).

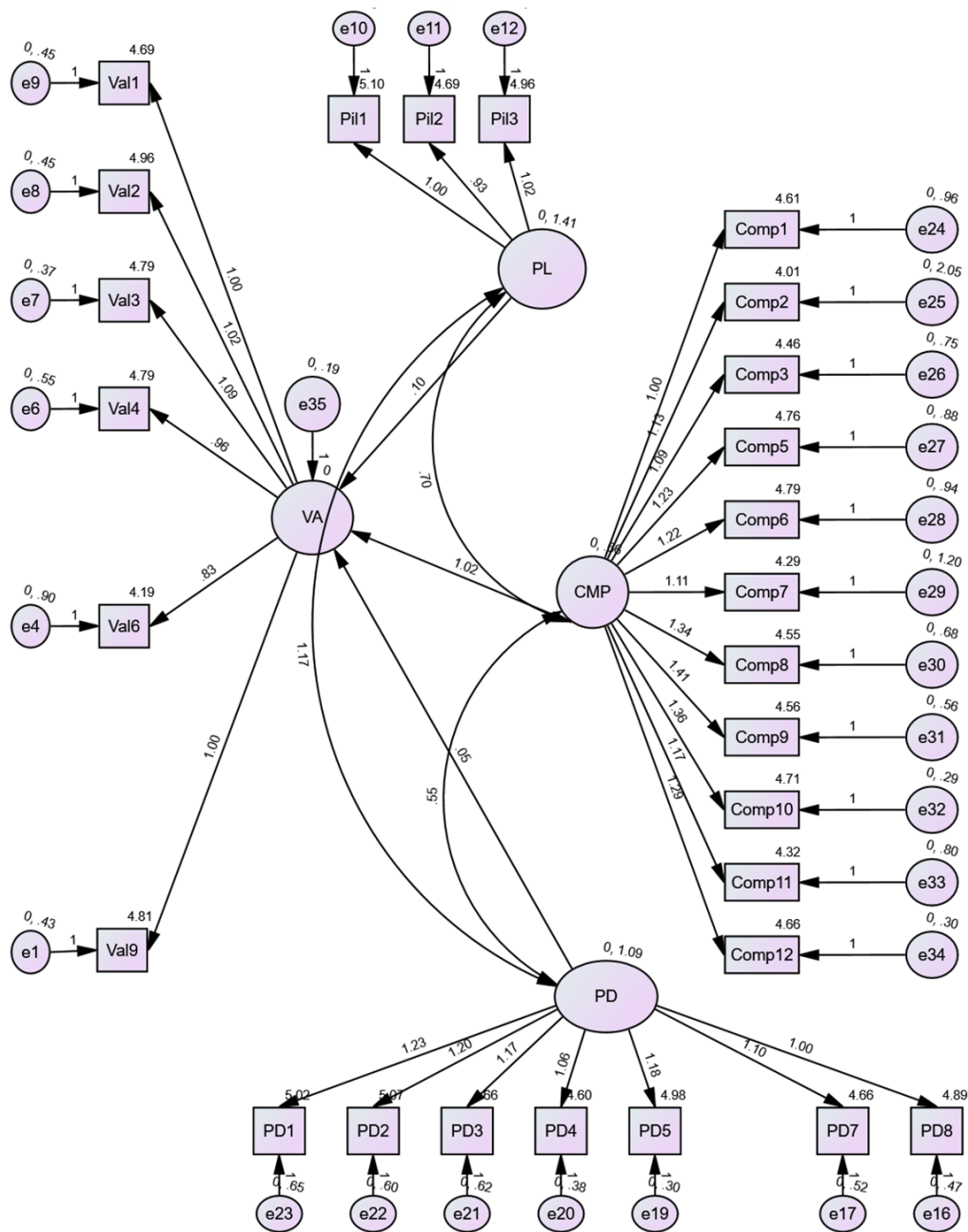


FIGURA 4.1.3.12 Modelo modificado 2 evaluado en Amos (Elaboración propia)

Los resultados de reporte de ajustes se aprecian en la FIGURA 4.1.3.13, teniendo de nueva cuenta valores marginales.

Notes for Model (Default model)

Computation of degrees of freedom (Default model)

Number of distinct sample moments:	405
Number of distinct parameters to be estimated:	87
Degrees of freedom (405 - 87):	318

Result (Default model)

Minimum was achieved
 Chi-square = 745.345
 Degrees of freedom = 318
 Probability level = .000

Model Fit Summary

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	87	745.345	318	.000	2.344
Saturated model	405	.000	0		
Independence model	27	3446.770	378	.000	9.118

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.784	.743	.863	.834	.861
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.841	.659	.724
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	427.345	351.506	510.891
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	3068.770	2884.613	3260.280

FMIN

Model	FMIN	F0	LO 90	HI 90
Default model	6.211	3.561	2.929	4.257
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	28.723	25.573	24.038	27.169

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.106	.096	.116	.000
Independence model	.260	.252	.268	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BICCAIC
Default model	919.345	972.302	
Saturated model	810.000	1056.522	
Independence model	3500.770	3517.205	

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	7.661	7.029	8.357	8.103
Saturated model	6.750	6.750	6.750	8.804
Independence model	29.173	27.638	30.769	29.310

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	59	62
Independence model	15	16

FIGURA 4.1.3.13 Reporte de ajuste, modelo modificado 2 (Elaboración propia)

Un tercer y último ajuste al modelo se evalúa en la FIGURA 4.1.3.14, modificando la variable (VA).

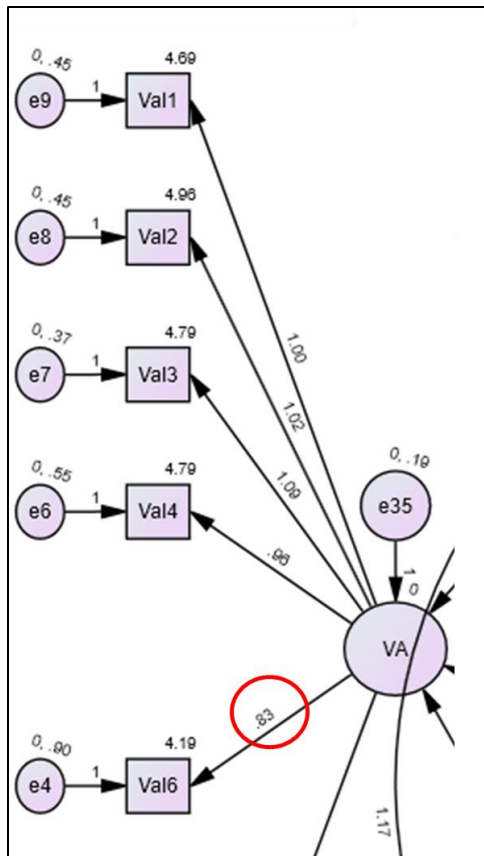


FIGURA 4.1.3.14 Evaluación de ajustes al modelo modificado 2 (VA) (Elaboración propia)

Se procede a correr el modelo en SPSS-Amos, con la tercera modificación la cual se nombrará modelo modificado 3, y sería la última entrada a la TABLA 4.1.3.3, para proceder a evaluar el modelo que explique mejor los datos. La FIGURA 4.1.3.15 muestra la tercera y última modificación evaluada en SPSS-Amos.

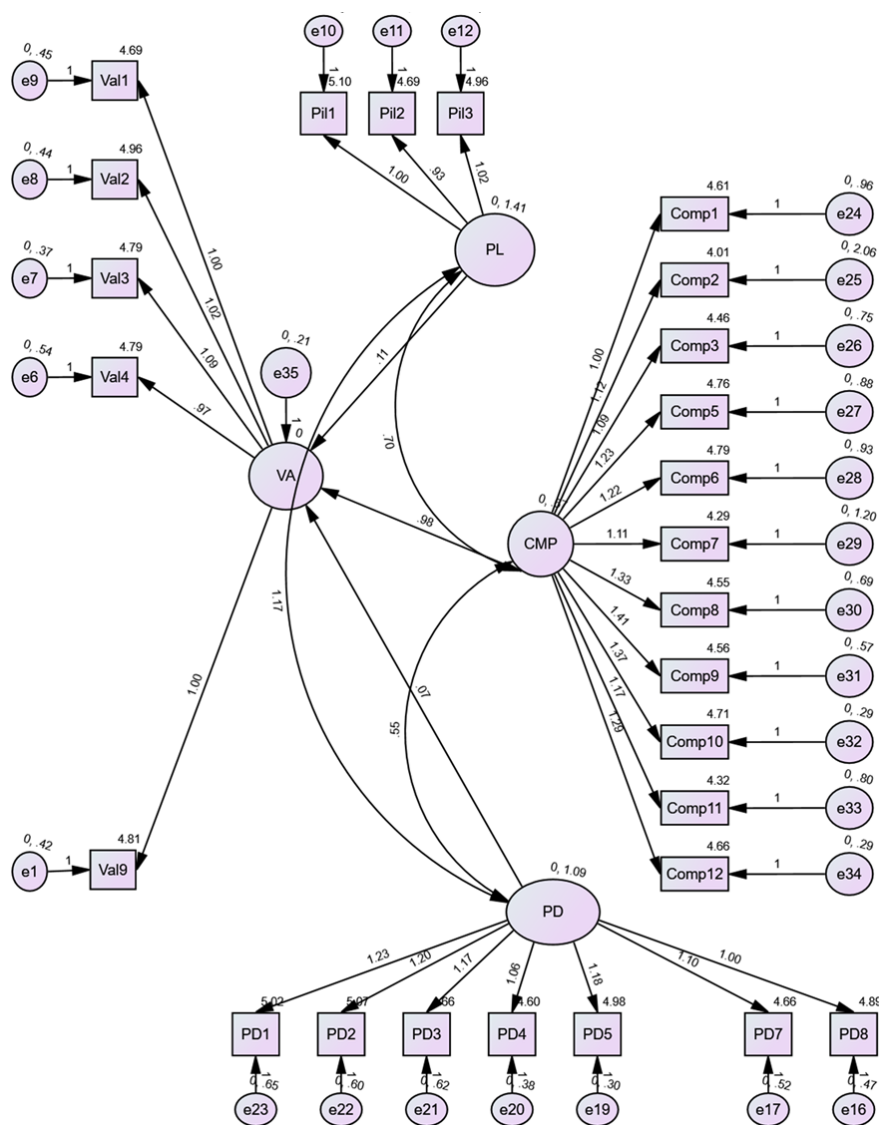


FIGURA 4.1.3.15 Modelo modificado 3 evaluado en AMOS (Elaboración propia)

Después de esta tercera modificación, del modelo original a esta iteración, se han eliminado 8 ítems, la FIGURA 4.1.3.16, muestra el reporte de ajustes del modelo, para consolidarlo en la TABLA 4.1.3.3, y decidir cual modelo se elegirá.

Notes for Model (Default model)

Computation of degrees of freedom (Default model)

Number of distinct sample moments: 377
 Number of distinct parameters to be estimated: 84
 Degrees of freedom (377 - 84): 293

Result (Default model)

Minimum was achieved
 Chi-square = 681.519
 Degrees of freedom = 293
 Probability level = .000

FMIN

Model	FMIN	FO	LO 90	HI 90
Default model	5.679	3.238	2.635	3.904
Saturated model	.000	.000	.000	.000
Independence model	27.629	24.704	23.198	26.271

Model Fit Summary

CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Default model	84	681.519	293	.000	2.326
Saturated model	377	.000	0		
Independence model	26	3315.468	351	.000	9.446

RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Default model	.105	.095	.115	.000
Independence model	.265	.257	.274	.000

Baseline Comparisons

Model	NFI Delta1	RFI rho1	IFI Delta2	TLI rho2	CFI
Default model	.794	.754	.871	.843	.869
Saturated model	1.000		1.000		1.000
Independence model	.000	.000	.000	.000	.000

AIC

Model	AIC	BCC	BIC CAIC
Default model	849.519	898.293	
Saturated model	754.000	972.903	
Independence model	3367.468	3382.565	

Parsimony-Adjusted Measures

Model	PRATIO	PNFI	PCFI
Default model	.835	.663	.725
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	1.000	.000	.000

ECVI

Model	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Default model	7.079	6.477	7.746	7.486
Saturated model	6.283	6.283	6.283	8.108
Independence model	28.062	26.556	29.630	28.188

NCP

Model	NCP	LO 90	HI 90
Default model	388.519	316.248	468.501
Saturated model	.000	.000	.000
Independence model	2964.468	2783.745	3152.552

HOELTER

Model	HOELTER .05	HOELTER .01
Default model	59	63
Independence model	15	16

FIGURA 4.1.3.16 Reporte de ajuste, modelo modificado 3 (Elaboración propia)

La TABLA 4.1.3.3, muestra la consolidación de los índices de ajuste de los 4 modelos evaluados en SPSS-Amos.

TABLA 4.1.3.3 Consolidación de índices de ajustes

Análisis Factorial Confirmatorio											
Modelos	Medidas de ajuste absoluto		Medidas de ajuste incremental			Medidas de ajuste a la parsimonia				Eliminaciones	
	Chi-cuadrado	RMSEA	CFI	TLI	NFI	PRATIO	PCFI	PNFI	AIC		
Modelo 1	0	0.099	0.833	0.81	0.735	0.876	0.73	0.643	1352.719	Ninguna	
Modelo modificado1	0	0.105	0.852	0.826	0.77	0.853	0.727	0.656	1044.085	PD6(0.86), PI4(0.8), PI5(0.76), Val5(0.73), Val7(0.77)	
Modelo modificado2	0	0.106	0.861	0.834	0.784	0.841	0.724	0.659	919.345	PD6(0.86), PI4(0.8), PI5(0.76), PI6(0.9), Val5(0.73), Val7(0.77), Val8(0.79)	
Modelo modificado3	0	0.105	0.725	0.843	0.794	0.835	0.725	0.663	849.519	PD6(0.86), PI4(0.8), PI5(0.76), PI6(0.9), Val5(0.73), Val6(0.83), Val7(0.77), Val8(0.79)	

Al evaluar las variables latentes, se revisaron los índices de correlación, y se probaron algunos modelos eliminando los índices de bajos. El modelo modificado 1, se eligió tener un mejor resultado en los índices de medidas de ajuste incremental, y solo eliminar 5 elementos (incluyendo el de correlación menor en PD).

Minimum was achieved
Chi-square = 1136.719
Degrees of freedom = 521
Probability level = .000

			Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
VA	<---	PD	.007	.171	.040	.968	par_33
VA	<---	PL	.109	.230	.472	.637	par_34
VA	<---	CMP	1.014	.177	5.743	***	par_35

FIGURA 4.1.3.17 Resultados de análisis factorial confirmatorio del modelo estructural

Con los resultados de la FIGURA 4.1.3.17, y la FIGURA 4.1.2.1 se revisan las hipótesis planteadas al inicio del trabajo:

En cuanto a la hipótesis general, se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna H₁: "Con el modelo conceptual propuesto se puede fundamentar la elección de proyectos de I4.0 con base a la visión preestablecida sobre I4.0, relacionando los principios, pilares y competencias de implementación en I4.0".

En cuanto a hipótesis particulares, se falla en rechazar la hipótesis nula:

H₂: “No existe una relación directa entre los principios de diseño y el valor agregado”.

H₃: “No existe una relación directa los pilares de la industria 4.0 y el valor agregado”.

Para H₄, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna H₄, donde: “existe una relación directa entre las competencias de implementación y el valor agregado”.

5. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta el modelo original propuesto, se considera que existe aún muchas aplicaciones que pueden derivarse de entender las relaciones entre los diferentes subniveles de las variables latentes propuestas en el modelo estructural. El periodo que abarca este trabajo contiene particularidades sociopolíticas y económicas, que pueden afectar el resultado y no están consideradas dentro del modelo como variables a analizar.

El tema en sí, aunque tiene más de 10 años, en la aplicación, se tiene un campo extenso virgen para investigación, ya que la naturaleza de los requerimientos de los proyectos de I4.0, tales como el tiempo requerido, costo y recursos y competencias, hace que el volumen de estos sea pequeño en comparación con la teoría que se va desarrollando en forma paralela.

Una recomendación adicional, es introducir el tema de I4.0 en la currículum no solo de especialidad, sino poco a poco hacerlo parte de la naturaleza del estudio. Espero este trabajo contribuya en el camino de algún otro aspirante a enriquecer el acervo del conocimiento en este tema tan interesante.

REFERENCIAS

Akeson, L., Sweden(2016). “Industry 4.0: Cyber-Physical Systems and their impact on Business Models” (Tesis de Maestría Universidad de Karlstads) (Documento-Web)

<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A946353&dswid=-8021>

22 de Septiembre del 2017

Anderl, R., Picard, A., Wang Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., Bauer, J., Frankfurt(2015). “Guideline Industry 4.0- Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses”, VDMA Forum Industria 4.0, Frankfurt, 2015, ISBN: 978-3-8163-0687-0 (Documento-Web)

<https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/0/Guideline%20Industrie%204.0.pdf/70abd403-cb04-418a-b20f-76d6d3490c05> Enero 2015

Arbuckle, J (2019). “IBM SPSS Amos 26 User’s Guide”, Amos Development Corporation

Arvind, A. (2016). “*Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems*”. (Tesis de Maestría en Ciencias de Robótica en Universidad Carnegie Mellon) (Documento Web)

https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2016/8/thesis1-Arvind.pdf

22

de Septiembre del 2017

Berger, R. (2016) “The Industrie 4.0 transition quantified”. (Documento Web)

<https://pdfs.semanticscholar.org/93e6/aee12a09555242f275871341492ce7365038.pdf>

09

de Noviembre del 2017

Costa, V., Sarmiento, R. (2019). “Confirmatory Factor Analysis- A case study”. FEUP, Portugal (Documento Web)

https://www.researchgate.net/publication/333102586_Confirmatory_Factor_Analysis_--_A_Case_study

08 de Mayo del 2019

Couper, M. (2011) “The future of modes of data collection”. (Documento Web)

<https://academic.oup.com/poq/article/75/5/889/1823506>

Dassisti, M., Panetto, H., Lezoche, M., Merla, P., Semeraro, C., Giovannini, A., Chimienti, M. (2017). *7th International Conference on Information Society and Technology, ICIST 2017, Mar 2017, Kopaonik, Serbia. 1, pp.50-54, 2017, ICIST 2017 Proceedings, (Documento Web)*

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01526397>

27

de Octubre del 2017

De Vasconcelos, A., & Linard, A. (2017). “Industry 4.0 with a Lean Perspective”. (Tesis de Maestría, Universidad UPPSALA). (Documento Web)

[https://uu.diva-](https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118830/FULLTEXT01.pdf)

[portal.org/smash/get/diva2:1118830/FULLTEXT01.pdf](https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118830/FULLTEXT01.pdf)

27 de Octubre del

2017

De Winter, J.C.F., Dodou, D., Wieringa, P.A. (2009). “Exploratory Factor Analysis with small sample sizes”. (Multivariate Behavioral Research, 44:147–181, 2009; ISSN: 0027-3171 print/1532-7906 online). (Documento Web)

[https://www.researchgate.net/profile/Peter-](https://www.researchgate.net/profile/Peter-Wieringa/publication/231537767_Exploratory_Factor_Analysis_With_Small_Sample_Sizes/links/0fcfd50b7d3b799922000000/Exploratory-Factor-Analysis-With-Small-Sample-Sizes.pdf)

[Wieringa/publication/231537767_Exploratory_Factor_Analysis_With_Small_Sample_Sizes/links/0fcfd50b7d3b799922000000/Exploratory-Factor-Analysis-With-Small-Sample-Sizes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter-Wieringa/publication/231537767_Exploratory_Factor_Analysis_With_Small_Sample_Sizes/links/0fcfd50b7d3b799922000000/Exploratory-Factor-Analysis-With-Small-Sample-Sizes.pdf)

Drath, R., Horsch, A (2014). “Industrie 4.0-Hit or Hype?”. En IEEE Industrial Electronics Magazine 01/2014; 8(2):56-58, 2014. (Documento Web)

https://www.researchgate.net/publication/263285662_Industrie_40_Hit_or_Hype_Industry_Forum

27 de Octubre del 2017

Du Plessis, C. (2017). “A framework for implementing Industrie 4.0 in learning factories” (Tesis de Maestria en Ingenieria Industrial, Universidad de Stellenbosch) (Documento Web)
https://www.google.com/url?q=https://scholar.sun.ac.za/bitstream/handle/10019.1/101189/duplessis_framework_2017.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&sa=U&ved=0ahUKEwjHkd-loNPXAhUV3YMKHbJABw84MhAWCBMwBw&client=internal-uds-cse&cx=017986067167581999535:rnewgrysmpe&usg=AOvVaw154iMF3U7gWqDVbXJKKfcr

02 de Noviembre del 2017

Enke, Judith, Glass Rupert, Kress Antonio, Hambach Jens, Tisch Michael, Metternich Joachim. (2018) “Industry 4.0- Competencies for a modern production system”
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918305006>

23 de Abril 2018

Freitag, M., Zelm, M. (2015). “Standardization connecting the initiative Industry 4.0 and Service Life Cycle”. (Documento Web)
<http://ceur-ws.org/Vol-1414/paper13.pdf>

13 de Octubre del 2017

Gerbert Phillip, Lorenz Markus, Russmann Michael, Waldner Manuela, Justus Jan, Engel Pascal, and Harnisch Michael, The Boston Consulting Group. (2015). “Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries” (Documento Web)
https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx#chapter1

09 de Abril del 2015

Gilchrist, A. (2016). “Industry 4.0: The industrial internet of things” (Documento Web)
<https://searchworks.stanford.edu/view/11817725>

de Noviembre del 2017

16

55

- Githarti, M, USA(2016). "Creating Value with Industry 4.0". (*Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería y Administración en el MIT*) (Documento Web)
<http://hdl.handle.net/1721.1/107606>
 15 de Septiembre del 2017
- Grzybowska, K., Lupicka, A., (2017). "Key competencies for Industry 4.0" (Documento-Web)
https://www.researchgate.net/publication/322981337_Key_competencies_for_Industry_40
 Octubre del 2017
- Gunther, F., Heinz, M., Fessler, A. (2017). "Moving the Industry 4.0" (Documento Web)
<https://zenodo.org/record/456320#.WhYLQjypvMs>
 16 de Noviembre del 2017
- Hercko, J., Slamkova, E. (2016). "Industry 4.0- New Era of Manufacturing" (Documento Web)
https://www.researchgate.net/publication/285597327_INDUSTRY_40_-_NEW_ERA_OF_MANUFACTURING
 09 de Noviembre del 2017
- Hill, R., Devitt, J., Anjum, A. Ali, M., (2017). "Towards In-Transit Analytics for Industry 4.0". En Cornell University Library. (Documento Web)
<https://arxiv.org/abs/1710.04121>
 29 de Septiembre del 2017
- ITI (2016). "SAIN4:State of the art report on industry 4.0". Proyectos de I+D en colaboracion. (Documento Web)
<https://zenodo.org/record/274043#.WhYE0zypvMs>
 09 de Noviembre del 2017
- Kern, R., Reiner, G., & Bluder, O. (2016). "Science, Application and Methods in Industry 4.0" Proceedings of the 1st International Workshop on Science, Application and Methods in Industry 4.0. co-located with (i-KNOW 2016) Graz, Austria, October 19, 2016. (Documento Web)
<http://ceur->

Noviembre del 2017

Kopp, R., Howaldt, J., Schultze, J. (2016). “Why Industry 4.0 needs workplace innovation: A critical look at the German debate on advanced manufacturing”. European Journal of Workplace Innovation. Vol 2, no.1. (Documento Web)
<http://journal.uia.no/index.php/EJWI/article/view/373>

09 de Noviembre del 2017

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). “Industry 4.0” (Documento Web)

<https://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs12599-014-0334-4>

13 de Octubre del 2017

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2014). “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems” (Documento Web)

<https://pdfs.semanticscholar.org/8abf/04223c6162d07d3d02be48478aa7e5aa82bb.pdf>

13 de Octubre del 2017

Mallick, P. (2017). “The flipside of Industrial 4.0 –Cyber Security Risk” (Documento Web) <http://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=prize-essays>

16 de Noviembre del 2017

MacCallum, R.C., Browne, M.W., and Sugawara, H., M. (1996), “Power Analysis and Determination of Sample Size for Covariance Structure Modeling,” Psychological Methods, 1 (2), 130-49.

Moller, C., (2016) “The Fourth Industrial Revolution and Ten Theses on Digitalization” (Documento Web)

mobil.dau.dk/Content/file...item/The_Fourth_Industrial_Revolution_173_INT.pdf

22 de Septiembre del 2017

Montanus, M., Netherlands (2009). “Business Models for Industry 4.0. Developing a Framework to Determine and Assess Impacts on Business Models in the Dutch Oil and Gas Industry”. (Tesis de Maestría en Ciencias en Universidad de Tecnología

Delft) (Documento Web)

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:3177d804-06d5-455c.../download> 22 de Septiembre del 2017

Nardello, M., Madsen, O., & Moller, C. (2016). "The Smart Production Laboratory: A Learning Factory for Industry 4.0 Concepts". (Documento Web)

<http://ceur-ws.org/Vol-1898/paper4.pdf>

20 de Octubre del 2017

Nardello, M., Moller, C. & Gotze, J. (2016). "The Industry 4.0 Journey: Start the Learning Journey with the Reference Architecture Model Industry 4.0". (Documento web)

<http://ceur-ws.org/Vol-1898/paper13.pdf>

20

de Octubre del 2017

Neculai, C. (2015). "COLLABORATIVE ENGINEERING DESIGN AND OPTIMIZATION OF COMPANY RESOURCES". (Tesis de Doctorado en Ingenieria Industrial Universidad de Sibiu, Rumania) (Documento Web)

http://doctorate.ulbsibiu.ro/obj/documents/abstract_DobrinCarmen.pdf

15

de Septiembre del 2017

Novakova, D. Praga (2017). "Industry 4.0 as an example of a top-down vs. horizontal Europeanization. (Documento Web).

https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/86073/DPTX_2014_1_1123_0_0_446751_0_162770.pdf?sequence=1 6 de Octubre del 2017

OXFORD ECONOMICS. "How Robots change the world": What automation really means for jobs and productivity. June 2019

Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. Slovenia (2016). "A Complex View of Industry 4.0". En SAGE Journals

<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2158244016653987>

15

de Septiembre del 2017

- Pentek, H., (2016). “Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios”. (Documento Web) <http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673?reload=true&arnumber=7427673&newsearch=true&queryText=industrie%204.0%20design%20principles> 16 de Noviembre del 2017
- Pfeiffer, S., (2017). “The visión of the Industrie 4.0 in the Making- a Case of Future Told, Tame and Traded”. [Nanoethics](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5383681/). 2017; 11(1): 107–121. (Documento Web) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5383681/> 16 de Noviembre del 2017
- Pimentel, J. (2019). “Some Biases in Likert Scaling Usage and its Correction”. 2019; ISSN 2307-4531. (Documento Web) https://www.researchgate.net/profile/Jonald-Pimentel/publication/332533000_Some_Biases_in_Likert_Scaling_Usage_and_its_Correction/links/5cbb357b299bf1209774718e/Some-Biases-in-Likert-Scaling-Usage-and-its-Correction.pdf
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E., Eisert, P., Dollner, J., & Vallarino, I. (2015). “Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet.” (Documento Web). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.706.3852&rep=rep1&type=pdf> 20 de Octubre del 2017
- Prause, M., & Weigand, J. (2016). “Industry 4.0 and Object-Oriented Development: Incremental and Architectural Change”. En Journal of Technology Management & Innovation vol.11 no.2 Santiago jun. 2016. (Documento Web) http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242016000200010 27 de Octubre del 2017
- Salimbeni, Sergio (2020). “Industry 4.0, Quality 4.0 & New Product Development”. ResearchGate Jan. 2020. (Documento Web) https://www.researchgate.net/publication/338459549_Industry_40_Quality_40_New_Product_Development 14 de Abril del 2020

- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J., USA(2016), “Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing”, en Journal of Industrial Engineering and Management, JIEM, 2016 – 9(3): 811-833
<http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940> 29 de Septiembre del 2017
- Schröder, C., (2017). “The challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises”. (Documento Web)
<http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12683.pdf> 6 de Octubre del 2017
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). “A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises”. (Documento Web)
https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_255446.pdf 02 de Noviembre del 2017
- Schwab, K. (2015). “The Fourth Industrial Revolution”. (Documento Web)
<https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
16 de Noviembre del 2017
- Segura-Velandia, D., (2016). “Industrie 4.0 implementations in the automotive industry”. (Documento Web)
https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/23402/3/Industrie%204.0%20implementations%20in%20the%20automotive%20industry%20ICMR%202016_vfinal_corrections.pdf
02 de Noviembre del 2017
- Servon, L. (2002). “Bridging the digital divide: technology, community and public policy”. Blackwell Publishing, Oxford, 2002.
- SMIT, J., Krautzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2016). “Industry 4.0”. (Doc. Web)
[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf) 29 de Septiembre del 2017

- Sommer, L. (2015). "Industrial Revolution- Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution? En Journal of Industrial Engineering and Management JIEM, 2015 – 8(5): 1512-1532 (Documento Web) <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84671/1470-8244-1-PB.pdf> 13 de Octubre del 2017
- Soundarapandian, M., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Van Den Brand, M., Alferez, M., & Gerard, S. (2017). "Towards Industry 4.0: Gap Analysis between Current Automotive MES and Industry Standards using Model-Based Requirement Engineering". En *Cornell University Library*, (Documento Web). <https://arxiv.org/abs/1704.02824> 29 de Septiembre del 2017
- Spear y Bowen (1999), "*Decoding the DNA of the Toyota Production System.*" Harvard Business Review 77, no. 5 (September–October 1999): 96–106. https://www.researchgate.net/publication/200552318_Decoding_the_DNA_of_the_Toyota_Production_System 30 de Noviembre del 2017
- Stock, T., Seliger, G. (2016). "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0" (Documento Web). <https://core.ac.uk/download/pdf/82023214.pdf> 09 de Noviembre del 2017
- Toor, M., (2017). "Industry 4.0 as SMART enabler for innovative business models". (Tesis de Maestría, Universidad de Agder). (Documento Web) <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2452846/Toor%2C%20Junaid.pdf?sequence=1> 27 de Octubre del 2017
- Valles, A., (2008). "Factores de mayor Influencia en la efectividad de técnicas de la manufactura esbelta". (Tesis de Doctorado, Tecnológico de Ciudad Juárez).

(Documento Web).

<https://www.researchgate.net/publication/317565120>

30 de Noviembre del 2017

Waschneck, B., Altenmuller, T., Bauernhansl, T., & Kyek, A. (2016). “Production scheduling in Complex Job Shops from an Industrie 4.0 Perspective: A Review and Challenges in the Semiconductor Industry”. En SamI40 workshop at i-KNOW ’16 October 18–19, 2016, Graz, Austria. (Documento Web)

<http://ceur-ws.org/Vol-1793/paper3.pdf>

20

de Octubre del 2017

Weber, E. (2016). “Industry 4.0 – job-producer or employment-destroyer?”. (Doc. Web).

https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68615/1/MPRA_paper_68615.pdf

02 de Noviembre del 2017

Wortmann, A., Combemale, B., Barais, O. (2017). “A Systematic Mapping Study on Modeling for Industrie 4.0”. *RR-9062, INRIA Rennes - Bretagne Atlantique and University of Rennes 1, France. 2017, pp.25. (Documento Web)*

<https://hal.inria.fr/hal-01514421>

27 de Octubre del 2017

CURRÍCULUM VITAE

El Maestro Javier Antonio Lom Hernandez, obtuvo su maestría en Ciencias de la ingeniería Administrativa por el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Desde 2002, se encuentra activo en el sector automotriz, con experiencia en mejora continua, industrial y seis sigma, en procesos de manufactura electrónica e interiores, con estancias como Gerente de ingeniería en plantas en Europa, Asia, África y América, liderando implementaciones de proyectos de mejora continua, arranque de instalaciones y transferencias de productos. Fue docente del Tecnológico Nacional de México campus de Ciudad Juárez, en el área de investigación, administración de proyectos y Manufactura en Industria 4.0.