

Capítulo 3

Diseño y Validación de un Instrumento para medir los beneficios de la implementación de la Industria 4.0 en el contexto de manufactura automotriz

*Paola Itzel Ceseña Romero
Blanca Rosa García Rivera
Jesús Everardo Olguín Tiznado*

<https://doi.org/10.61728/AE24001632>



Introducción

La Industria 4.0 representa una revolución tecnológica que integra sistemas ciber físicos, el Internet de las cosas (IoT) y la computación en la nube para mejorar la eficiencia y productividad en los procesos industriales. En este contexto, la investigación sobre la implementación y adopción de estas tecnologías se ha vuelto crucial para entender su impacto y maximizar sus beneficios. Sin embargo, existe un vacío significativo en la literatura respecto a la evaluación precisa de los beneficios, desde el punto de vista de la sustentabilidad, la necesidad del cliente, calidad y la operacionalización, asociados con la Industria 4.0, especialmente en el contexto de la industria automotriz en México. Hasta el momento, los estudios sobre la Industria 4.0 han revelado diversos beneficios, como la optimización de procesos, la reducción de costos y la mejora en la calidad de los productos (Zamora et al. 2024 roadmaps, frameworks, and readiness assessments; Hamilton, 2020). No obstante, la falta de instrumentos de medición robustos y validados impide una evaluación integral y sistemática de estos aspectos (Ávila et al., 2022). Esta carencia es particularmente notable en la industria automotriz mexicana, donde la adaptación a las tecnologías de la Industria 4.0 es esencial para mantenerse competitiva a nivel global (Shahin et al., 2020)

La presente investigación se centra en la construcción y validación de un instrumento de medición que incluye factores críticos y dimensiones específicas para evaluar los beneficios, desde el enfoque de las soluciones y riesgos asociados con la Industria 4.0. Este instrumento permitirá obtener datos precisos y confiables, facilitando la toma de decisiones estratégicas y operativas en el sector automotriz. La variable de beneficios, así como las dimensiones de sustentabilidad, necesidades del cliente, calidad y operacional, son esenciales para comprender el impacto global de la Industria 4.0. La creación de este instrumento de medición no solo llenará el vacío existente en la literatura, sino que también proporcionará una herramienta valiosa para las empresas automotrices en

México, permitiéndoles evaluar y mejorar continuamente sus procesos de adopción tecnológica (Lin, Lee, Lau, & Yang, 2018). Por lo tanto, esta investigación aborda la necesidad urgente de desarrollar herramientas de medición adecuadas para evaluar los efectos de la Industria 4.0 en la industria automotriz mexicana, con el objetivo de maximizar los beneficios. La validación de este instrumento contribuirá significativamente al avance del conocimiento y la práctica en este campo emergente.

Industria 4.0

El término industria 4.0, se volvió público en el 2011 en Alemania durante la Hannover Messe (Marizia Bolpagni, 2022), también conocida como “manufactura inteligente o “La cuarta revolución industrial” tiene el objetivo de digitalizar todo el proceso de fabricación reduciendo al mínimo las interacciones humanas o físicas (Aydin Azizi, 2022), basándose en la revolución digital, es la combinación de múltiples tecnologías que nos conducen a cambios sin precedentes en la economía, negocios, la sociedad y las personas. Cambiando el qué y el cómo hacer las cosas (Schwab, 2016). Es una visión de la fábrica del futuro o fábrica inteligente que trae consigo una tendencia a la automatización total de la manufactura (Joyanes, 2017). Utilizando los cimientos de las previas revoluciones industriales (máquina de vapor, tratamiento de acero, electricidad, química, combustión, nanotecnología, biotecnología, nuevos materiales, etc.) con mayores índices de integración, digitalización, virtualización, tecnologías y respuesta rápida a estímulos (Núbia Pererira, 2020).

Esta cuarta revolución ha sabido tomar su lugar en la industria puesto que las grandes potencias se están interesando cada vez más en la incursión de las nuevas tecnologías, al grado de generar estrategias para una mejor incorporación y aprovechar todos sus beneficios como lo es, mejorar la personalización del producto o mejorar su calidad (Attiany et al., 2023) individual interviews with a panel consisted of academic and industry experts. Following numerous previous studies, interpretive structural modeling (ISM, ventajas competitivas, eficiencia operacional, manufactura flexible (Masood & Sonntag, 2020), incrementar la seguridad, ambiente de trabajo más cómodo, disminuir desperdicios, (Bianchi, Durán, & Labory, 2019), reducción de costos (Ragulina, Ukolov,

& Shabunovich, 2021), tener nuevos modelos de trabajo innovadores, aumentar la satisfacción del cliente, reducir el inventario, (Mohamed, 2018), de acuerdo con algunas estimaciones se calcula que los inventarios se reducirán en un 30-40%, los de mantenimiento en un 20-30%, mientras que los procesos de manufactura, logística y calidad entre el 10-20% (Garnica, 2020).

1.2 Tecnologías 4.0

Aunque no exista un conjunto definitivo de pilares establecidos en particular para la cuarta revolución industrial, se pueden distinguir algunas tecnologías que se consideran fundamentales en su implementación de acuerdo con la opinión de diferentes autores: Big data, robots autónomos, simulación, integración horizontal y vertical, Internet de las cosas (IoT), la nube, Manufactura aditiva, realidad aumentada y virtual, ciberseguridad e inteligencia artificial. (Basco, 2018; Erboz, 2017; Garrell, 2019; Pascual, 2019; Quiñonez, 2019).

En México también Podemos encontrar diferentes iniciativas relacionadas con la industria 4.0 como lo es el “Mapa de ruta para industria 4.0” que se trata de una radiografía del país y sus perspectivas en la industria de las tecnologías de la información (TI), “El centro de manufactura inteligente” el cual busca sensibilizar a las pymes (pequeñas y medianas empresas) de la importancia de la I4.0, “Programa piloto de moldes y troqueles” que brinda servicios de herramientas digitales de modelado y simulación a pymes, “Alianza México 4.0” que apoya el desarrollo de proyectos de digitalización, “Prosoft” proyectos de adopción de TI de industria 4.0 (Ynzunza et al., 2017).

Por su parte el estado de Nuevo León ha iniciado a desarrollar operarios e ingenieros 4.0 como parte de su iniciativa “Nuevo León 4.0”, poniendo a este estado como el primero de los cinco estados más vanguardistas en temas de industria 4.0, siendo el estado de México el segundo, seguido de Jalisco, Guanajuato y Querétaro (González et al., 2020).

De igual manera en Baja California se cuenta con la iniciativa BC I4.0 liderada por la Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI) con el fin de crear un plan de trabajo para potenciar el nivel de competencia

académica, laboral y recursos para la inducción de las empresas hacia el modelo de industria 4.0, el cual ha logrado analizar en qué punto se encuentra el estado mediante una encuesta aplicada en el estado a profesionistas del sector industrial, donde se recolectaron datos como patrones sobre el conocimiento, niveles de implementación en las empresas, disponibilidad de recursos, etc. (AXIS, 2019). Así mismo, forma parte de uno de los nueve estados que participa dentro del proyecto iCluster, el cual tiene como propósito documentar los resultados pilotos de las redes de conocimientos por las iniciativas que se generan en los estados que participan de México, Estados Unidos y Europa, siendo la adopción de la industria 4.0 una de sus iniciativas (QoS Labs de México, 2022).

1.3 Industria Automotriz 4.0

La industria 4.0 está acompañada con grandes cambios para la industria manufacturera, volviéndose necesaria para sobrevivir a la próxima generación de fabricación industrial (Hamada, 2019) volviéndose crucial para la industria automotriz debido a los beneficios significativos que aporta a la eficiencia, la calidad y la innovación. Esto lo vemos en grandes empresas como Volkswagen y su asociación con Amazon web para crear su propia nube industrial, Audi utilizando la inteligencia artificial en su planta en Hungría habilitando vehículos de guiado automático, la personalización de productos prácticamente infinitas de Mercedes en vehículos insignias clase S (Arcidiacono et al., 2019), Intel corporation con tecnologías potenciadas por el internet industrial de las cosas (IIoT) y la informática de punta, International Business Machines (IBM) con sus diferentes gestiones de activos empresariales, rendimientos de activos, activos de infraestructura, y sus colaboraciones bussines to bussines (B2B) (Emergen Research, 2023) así como uno de los pioneros en la industria 4.0 Siemens con los primeros sistemas basados en la nube en Iot abierto en 2016 mostrando una conectividad total de la interfaz física y de la maquina con el mundo digital (Kishorre Annanth, Abinash, & Rao, 2021). Al aprovechar tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y la automatización, las empresas automotrices pueden optimizar sus procesos de fabricación, mejorar la toma de decisiones basada en datos y aumentar la personalización de los productos.

La digitalización y la conectividad también facilitan la creación de cadenas de suministro más ágiles y transparentes, lo que resulta en una respuesta más rápida a las demandas del mercado, como lo es el caso de la planta del grupo BMW en Ratisbona, Alemania, quien fabricó aproximadamente 320.000 vehículos en 2018 con el uso desde robótica hasta impresión 3D y análisis de datos inteligentes lograron reducir el tiempo necesario para implementar nuevas aplicaciones en un 80% y reducir los problemas de calidad en un 5% (Marc, 2020). Además, la Industria 4.0 permite el desarrollo de vehículos más inteligentes y seguros al incorporar sistemas de asistencia avanzados y tecnologías de conducción autónoma. En resumen, la adopción de la Industria 4.0 en la industria automotriz no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también impulsa la innovación, la competitividad y la capacidad de adaptación a las tendencias emergentes del mercado.

De acuerdo con el Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros, el cual muestra la venta producción y exportación de automóviles y camiones ligeros en México, en el 2021 México tuvo una producción promedio de 275,696 automóviles, 9.23 más que en el 2021(INEGI, 2023), así mismo la industria automotriz representa un 18% de participación en el PIB manufacturero (3.6% del PIB nacional) y brinda un 22% en el empleo manufacturero, convirtiéndonos en el fabricante de vehículos número uno en Latinoamérica y el séptimo en el mundo, así como el cuarto lugar de exportación mundial de autopartes, volviéndonos el proveedor número uno de Estados Unidos (AMIA, 2021).

Debido al crecimiento que ha habido en el país respecto a la industria automotriz, se decidió crear en México un clúster automotriz apoyado por el gobierno de los estados, la secretaria de economía y los clústers naturales existentes. Iniciando por Nuevo León en 2007 se fue conformando una red donde se incluye a Guanajuato, Estado de México, Zona Centro (Puebla y Tlaxcala), Coahuila, Chihuahua, Querétaro, Jalisco y San Luis Potosí (Nava Aguirre, Silva Ábrego, Guajado García, Leyva Velázquez, & Torres Camarillo, 2019).

Por este alto crecimiento y beneficios que presenta la industria automotriz mexicana, se observa la necesidad de medir estos beneficios cuantitativamente a través de instrumentos de medición que tengan ro-

bustez y hayan sido validados en el contexto mexicano.

Este artículo se compone de cuatro secciones: la primera es la introducción donde se presenta la importancia de esta investigación y el “gap” o carencia de investigación enfocada en la industria 4.0 en el contexto de las Manufactureras automotrices en México. La segunda sección se enfoca en la descripción del método utilizado para el diseño y desarrollo del instrumento de medición. La tercera sección se enfoca en el análisis de los resultados observados y, por último, en la cuarta sección se presenta una discusión de los hallazgos sobresalientes, áreas de investigación futuras y limitaciones, así como implicaciones profesionales de esta investigación.

Metodología

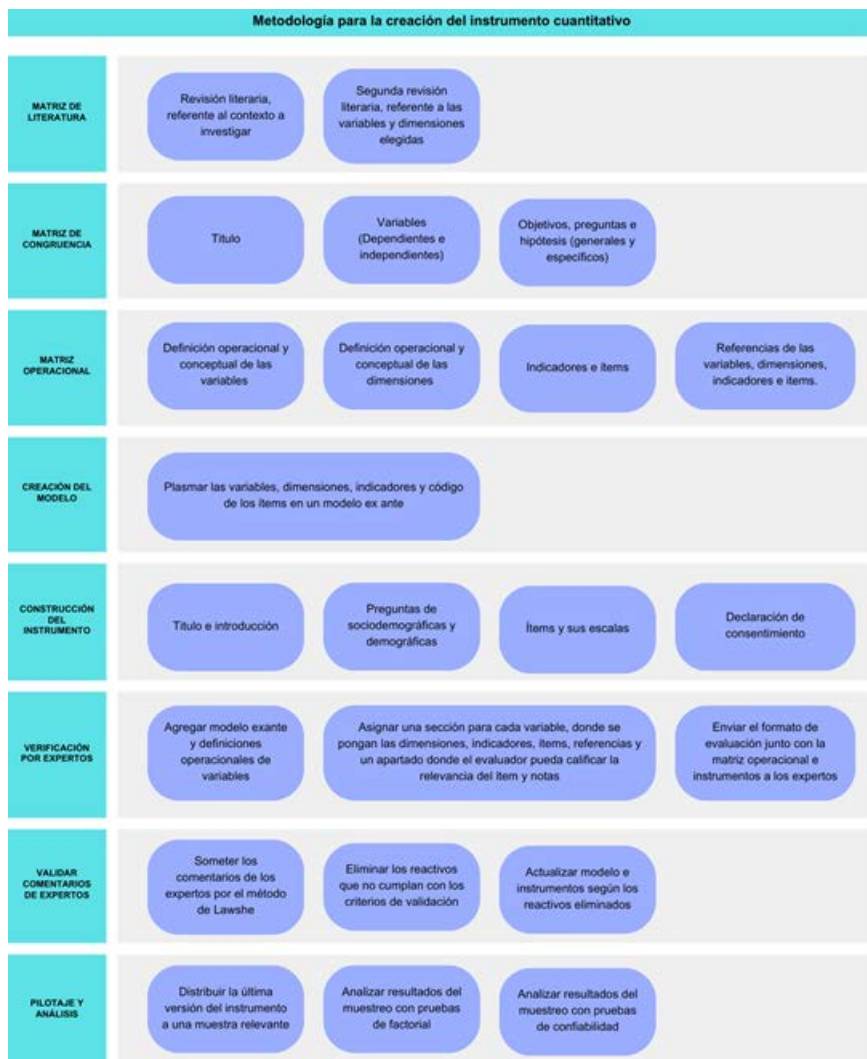
Desde una perspectiva cuantitativa y con el objetivo principal de este estudio, se desarrolló una metodología detallada, estructurada en varias etapas clave. La primera etapa consistió en el diseño del instrumento de medición, donde se seleccionaron cuidadosamente las variables y se redactaron las preguntas de acuerdo con un marco teórico sólido. Esta fase se basó en la revisión exhaustiva de la literatura relevante, asegurando que el instrumento capturara de manera efectiva los aspectos críticos del fenómeno investigado.

La segunda etapa incluyó la evaluación por expertos y el pilotaje del instrumento diseñado. Durante esta fase, el instrumento fue sometido a revisión por parte de especialistas en el tema, quienes proporcionaron retroalimentación crítica para mejorar su validez y fiabilidad. Además, se llevó a cabo un piloto inicial del instrumento con un grupo reducido de participantes, lo que permitió identificar posibles áreas de mejora en la claridad y pertinencia de las preguntas.

Finalmente, la tercera etapa comprendió las pruebas estadísticas de validación del instrumento. En esta fase, se aplicaron técnicas estadísticas avanzadas para evaluar la consistencia interna del instrumento, así como su capacidad para medir de manera precisa las variables y dimensiones establecidas. Estas pruebas fueron fundamentales para asegurar que el instrumento fuera robusto y confiable antes de su implementación en el estudio principal.

A continuación, en la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso seguido para el diseño del instrumento.

Figura 1 Metodología instrumento cuantitativo



Fuente: elaboración propia

Para la construcción de un modelo confiable cuantitativo es importante realizar una extensa revisión literaria sobre el tema en el cual se desea

profundizar, navegando en las diferentes bases de datos como Scopus o Web Of Science (WoS) que se caracterizan por sus publicaciones de gran confiabilidad, donde gracias a su amigable base de datos, resulta más sencillo encontrar artículos relacionados al tema central de la investigación.

Por tal motivo, se procedió analizar diferentes literaturas bajo el contexto de “industria 4.0” en Scopus con los siguientes filtros: año de publicación (del 2019 en adelante), palabras clave (industry 4.0), acceso (Open Access), idioma (ingles), donde actualmente nos arroja 8,983 productos. Por medio de los artículos que se leyeron durante el proceso se pudo identificar una constante en los temas relacionados con la I4.0, los “Beneficios”, por lo tanto, se definió como la variable dependiente.

Por consiguiente, se realizó una segunda revisión literaria para industria 4.0 pero agregando “beneficios” a la búsqueda, con 990 artículos en la actualidad se profundizo dentro de las lecturas para recuperar la información relevante de los artículos y plasmarla dentro de la matriz literaria (ver Tabla 1).

Tabla 1 Ejemplo de matriz literaria

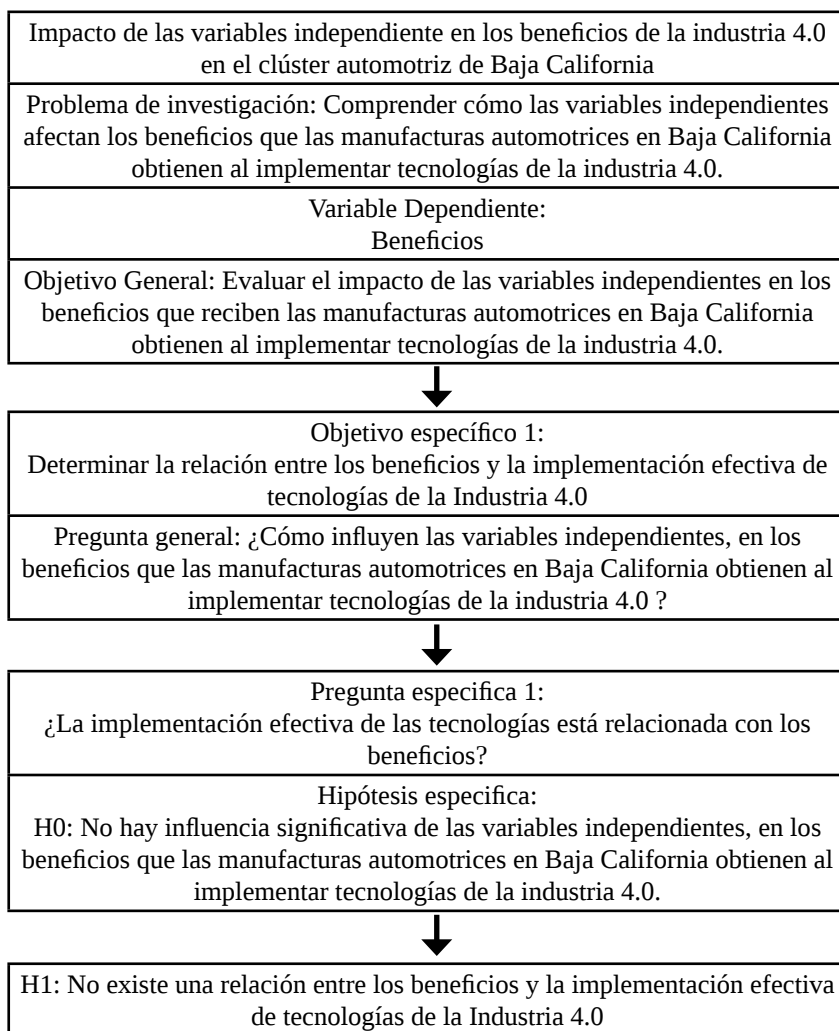
Variables	VD tecnologías, VI potencial
Variables Seleccionada	Beneficios
Dimensiones	Soluciones, beneficios, riesgos
Indicadores	N/A
Escala	N/A
Objetivos	Analizar qué factores pueden influir en el grado de implementación de la Industria 4.0 en la industria del mueble, dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de producción
Hipótesis	N/A
Modelo Del Instrumento	Anexo Z
Teoría Analizada	N/A
Muestra	31 compañías que procesan madera en Europa Central
Población	Industrias que procesan madera

Hallazgos Sobresalientes	La aplicación de estas tecnologías aumenta la eficiencia de toda la operación en un 30% - 50% durante los cinco años desde que se introdujeron las primeras innovaciones, especialmente en empresas con producción atípica y grandes empresas.
ítems	<p>Eliminación de operaciones repetitivas</p> <p>Las líneas de producción más eficientes aseguran el movimiento automático de las piezas, su mecanizado, ensamblaje y empaquetado</p> <p>Uso eficiente de los residuos</p> <p>Uso eficiente del tiempo</p> <p>Aumento de la eficiencia en el trabajo</p> <p>Automatización de procesos</p> <p>Visualización en tiempo real de datos actuales</p> <p>Disponibilidad de datos</p> <p>Utilización de códigos QR para una recolección eficiente de datos y un registro preciso</p>
Fuente	(Červený et al., 2022)
Título	The Potential of Smart Factories and Innovative Industry 4.0 Technologies—A Case Study of Different-Sized Companies in the Furniture Industry in Central Europe
DOI	10.3390/f13122171
Cita	(Červený et al., 2022)

Fuente: elaboración propia

Con el apoyo de la matriz literaria, se reafirmó el uso de la variable al obtener una comprensión más clara de la misma.

Tabla 2 Matriz de congruencia



Un punto clave para la investigación es el definir la matriz de congruencia (ver Tabla 2), la cual es esencial para garantizar que un proyecto sea bien planificado, coherente y efectivo al mostrar la conexión entre los objetivos, preguntas e hipótesis. Es importante considerar el uso de verbos de mayor alcance dentro de la matriz, como evaluar, analizar, modelar,

etc. (tomar como referencia la taxonomía de Bloom), para resaltar la formalidad y relevancia de la investigación.

Tabla 3 Matriz operacional, dimensión calidad

Beneficios	Def conceptual		Definición conceptual: Los beneficios de la empresa se miden objetiva y subjetivamente mediante la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), (Pérez, 2018)	
	Def operacional		Definición operacional: Se refiere a las mejoras que experimenta una empresa al adoptar tecnologías de la industria 4.0.	
Dimensiones	Conceptual	Operacional	Indicadores	Items
1Calidad (Kineber et al., 2023)	El rendimiento según los gerentes (Kineber et al., 2023)	La mejora en la innovación y capacidad de un producto, bajo sistemas de calidad y gestión.	Mejora de productos	Mejora en la calidad de los productos, (Chauhan et al., 2021) (Nimawat & Gidwani, 2023)
				Aumento de la innovación del producto, (Chauhan, Singh, & Luthra, 2021)
				Mejora en la capacidad y rendimiento del producto, (Chauhan, Singh, & Luthra, 2021)

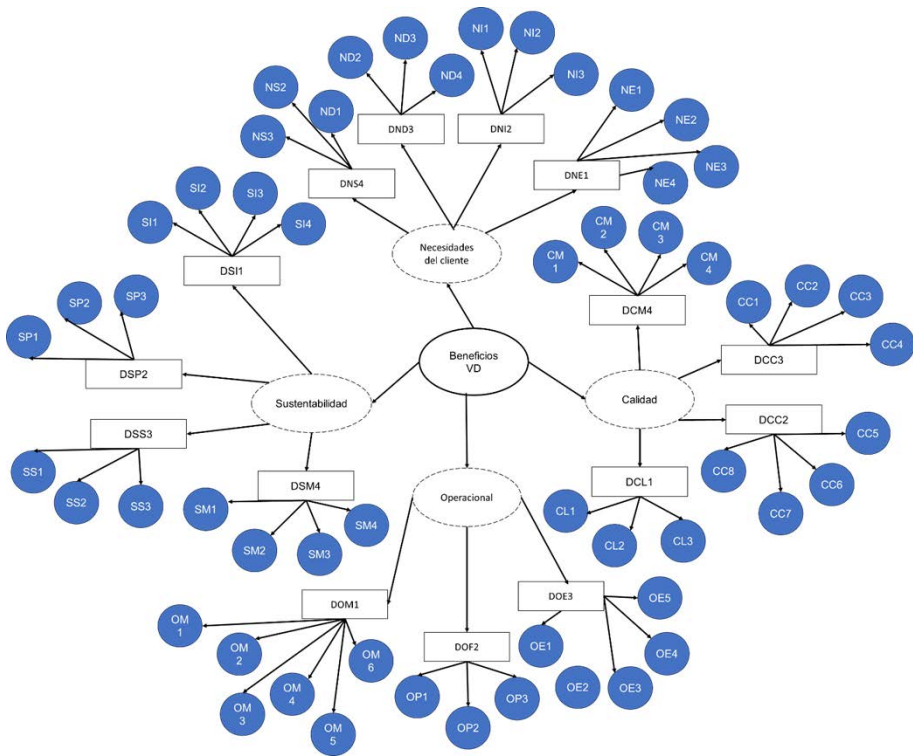
				Capacidad para procesar desde fabricaciones pequeñas hasta grandes, (Zulqarnain et al., 2022)
			Conectividad (Zulqarnain et al., 2022)	Conectividad de Objetivos Estratégicos y Departamentales, (Zulqarnain et al., 2022)
				Existencia de un Círculo de Calidad y sus reuniones, (Zulqarnain et al., 2022)
				Conectividad del Sistema de Calidad con la Infraestructura de TI, (Zulqarnain et al., 2022)
				Conectividad de Datos Estratégicos y Departamentales para formar KPIs, (Zulqarnain et al., 2022)
Nota: Se presenta el ejemplo de una dimensión de las cuatro que se utilizaron originalmente para la variable de beneficios, así como solo dos indicadores de los cuatro que corresponden a la dimensión de calidad.				

Fuente: elaboración propia

Con el apoyo de nuestra matriz literaria, podemos elegir los ítems que se han utilizado dentro de diferentes modelos y adaptarlos a nuestros objetivos, esto con el fin de tener un instrumento con ítems más confiables, como se muestra en la Tabla 3.

Resultados

Figura 2 Modelo ex ante beneficios



Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que para conservar las variables a un después del pilotaje se consideró utilizar la regla (4)(4)(4), es decir, por cada variable considerar cuatro dimensiones, por cada dimensión considerar cuatro indicadores y por cada indicador considerar cuatro ítems como

se muestra en la figura Figura 2.

En el caso de la variable Beneficios se obtuvo un total de cuatro dimensiones, 15 indicadores y 56 ítems, donde al menos cada dimensión tenía de tres a cuatro indicadores y por cada indicador se contaba con tres Items o más.

Como resultado del modelo ex ante, se desarrolló un instrumento integral en el que se incorporaron los ítems generados durante la fase de la matriz operacional. Este instrumento utiliza una escala diferencial semántica para evaluar y medir las variables y dimensiones clave del estudio. Para la creación del instrumento, se consideraron varios puntos clave con el objetivo de darle una estructura óptima y generar mayor fluidez durante su contestación, considerando los siguientes puntos para su elaboración:

- Título
- Introducción al instrumento (un párrafo breve donde se mencione el objetivo, la duración del cuestionario, y enfatice la privacidad de los datos proporcionados).
- Una pregunta donde se pida confirmación de que el encuestado es mayor de edad.
- Una pregunta donde se confirme que la persona cumple con el perfil de la muestra.
- Datos sociodemográficos como sexo, turno laboral, departamento, años laborando (tratar de distribuir algunas preguntas en la sección final del instrumento para no abrumar al encuestado, así como, no poner seguidas preguntas que podrían considerarse intimidantes como el estado civil o salario para no intimidar al respondiente)
- Datos organizacionales como nombre, tamaño, giro, años operando, etc.
 - * Entre más datos sociodemográficos u organizacionales nos dan la oportunidad de poder profundizar más en las respuestas y lograr diferentes enfoques entorno al modelo.
- Una breve descripción de las variables o el contexto del instrumento en este caso la industria 4.0.
- Los ítems y su escala
 - * Todos deben de ir con la misma escala o si se va a trabajar con

diferentes modelos tener identificadas sus escalas puesto que los datos no deben mezclarse en el análisis.

- * Se deben de acomodar por secciones (de preferencia por variable)
- * El orden de los ítems debe ser de acuerdo con sus variables, sin embargo, serán aleatorios entre las dimensiones.
- * Deben estar enumerados y de preferencia identificados según su dimensión e ítems, es decir, se puede crear una nomenclatura donde se utilice la primera letra de la dimensión y el indicador seguido de una numeración, para identificar al ítem
- * La escala puede ir de mayor a menor o viceversa, la longitud de la escala dependerá de la población, entre mayor sea la escala necesitará una mejor comprensión por parte de la muestra, se aconseja que se trabaje con números pares para no sesgar las respuestas a un número central, (en este caso se trabajó desde 1.- Totalmente de acuerdo, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.-Totalmente en desacuerdo).
- La declaración de consentimiento para participar en la investigación es un párrafo donde el encuestado acepta el uso de sus datos de forma confidencial y anónima, sin remuneración económica. Se informa que los resultados podrían publicarse manteniendo el anonimato. Finalmente, se solicita al respondiente que confirme haber leído y estar de acuerdo con la declaración.

Una vez creado el instrumento se distribuyó a diferentes expertos en el área de innovación y tecnologías para que pudieran evaluar la relevancia de los ítems de acuerdo con su experiencia y poder filtrar aquellos que no aporten relevancia a la medición de la variable. Una vez recibidos los comentarios de los expertos (en este caso siete), se aplicó una adaptación del método de Lawshe para seleccionar los reactivos que seguirían formando parte del instrumento aplicando la siguiente fórmula:

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2}$$

Donde:

CVR= Razón de validez de contenido

N =Número de expertos

n_e = número de expertos que indican relevante el ítem utilizando una escala del 0 (no relevante) al 4 (importante considerar dentro del instrumento).

Tabla 4 Selección de ítems mediante Lawshe

Ítems	EX1	EX2	EX3	EX4	EX5	EX6	EX7	n	CVR	
Compromiso con los Sistemas de Gestión de Calidad	4	4	4	4	4	0	4	6	0.71	OK
Cultura de trabajo hacia la calidad	4	4	3	4	3	4	4	5	0.14	X

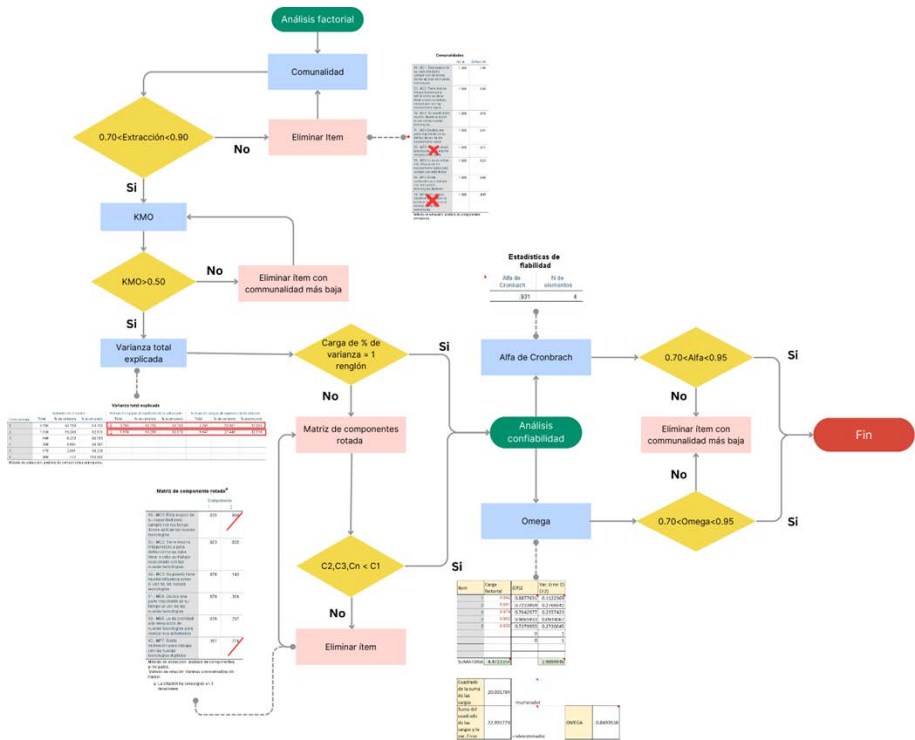
Fuente: elaboración propia

Se utilizó un criterio en el que se eliminaba el ítem si el CVR era menor que 0.50 (ver Tabla 4) la variable se pudo reducir a cuatro dimensiones, 13 indicadores y 37 ítems.

Una vez actualizado el instrumento a 37 ítems se distribuyó a una muestra para analizar las respuestas por medio de análisis factoriales y de confiabilidad (ver Figura 6).

El análisis factorial y el análisis de confiabilidad son fundamentales en la investigación y el análisis de datos, puesto que, el análisis factorial nos ayudan a darle precisión y validez a los instrumentos, al asegurarse de que los ítems agrupados miden a nuestra dimensión o variable. Por otro lado, el análisis de confiabilidad medido a través del coeficiente alfa de Cronbach y Omega, evalúa la consistencia interna de los ítems en el instrumento, asegurando que las mediciones sean fiables y reproducibles. Juntos, estos análisis mejoran la calidad y la precisión de los datos recopilados, validan teorías, optimizan la toma de decisiones y aseguran que los resultados obtenidos sean tanto válidos como fiables, lo cual es crucial para cualquier investigación rigurosa y aplicable.

Figura 6 diagrama de flujo para el análisis



Fuente: elaboración propia

Para realizar las pruebas se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics, donde en la sección de reducción de dimensiones se analizó el factor, en el cual se buscó un grado de explicación de cada ítem en su variable entre el 0.70 – 0.95 (ver Tabla 5).

Tabla 5 Comunalidad para sustentabilidad 1

Comunalidades					
	Inicial	Extracción		Inicial	Extracción
SI1	1.000	.939	SP8	1.000	.984
SI2	1.000	.759	SP9	1.000	.868
SI3	1.000	.848	SS10	1.000	.695
SI4	1.000	.715	SM12	1.000	.935
SI5	1.000	.890	SM13	1.000	.824
SI6	1.000	.927	SM14	1.000	.805
SI7	1.000	.906	SM15	1.000	.889

Fuente: elaboración propia

Se identificaron dos ítems los cuales no cumplían con las especificaciones dentro de las comunalidades, por lo tanto, se prosiguió a eliminarlos y correr de nuevo los datos, cuatro veces más se corrieron los datos (ver Tabla 6), puesto que seguían surgiendo ítems que no cumplían con los parámetros.

Tabla 6 Comunalidad para sustentabilidad 6

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
SI3	1.000	.918
SI4	1.000	.854
SI5	1.000	.887
SI7	1.000	.817
SP9	1.000	.766
SM12	1.000	.930
SM14	1.000	.773
SM15	1.000	.709

Fuente: elaboración propia

De los 14 ítems iniciales para la dimensión de sustentabilidad nos quedamos con ocho que se encontraban dentro del rango aceptable, además de

tener un KMO de 0.714, el cual se considera bueno, puesto que de 0.50 hacia arriba se considera aceptable, sin embargo, dentro de la varianza total explicada podemos observar como la dimensión se está midiendo como si fueran dos (ver Tabla 7), por lo tanto, es necesario revisar la matriz de componentes rotados e identificar cuales ítems pertenecen a ese segundo factor para eliminarlos.

Tabla 7 Varianza total explicada sustentabilidad

Varianza total explicada						
Ítem	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% varian-za	% acu-mulado	Total	% varian-za	% acumu-lado
1	5.454	68.173	68.173	5.454	68.173	68.173
2	1.200	14.994	83.167	1.200	14.994	83.167
3	.562	7.029	90.196			
4	.376	4.698	94.894			
5	.215	2.685	97.579			
6	.122	1.529	99.107			
7	.043	.543	99.650			
8	.028	.350	100.000			

Fuente: elaboración propia

Fueron solo tres ítems los que se debieron eliminar para que los resultados no afectaron el cómo se mide la dimensión (ver Tabla 8).

Tabla 8 Matriz de componente rotado para sustentabilidad 1

Matriz de componente rotadoa		
	Componente	
	1	2
SI3	.302	.909
SI4	.297	.875
SI5	.829	.446
SI7	.280	.859
SP9	.787	.384
SM12	.935	.234
SM14	.863	.171
SM15	.766	.350

Fuente: elaboración propia

Una vez que se eliminaron los ítems que afectaban la varianza quedamos con un total de seis ítems para la dimensión de sustentabilidad de la variable de beneficios, donde se obtuvo un KMO de 0.660 (ver Tabla 9) y comunales por arriba de 0.72 y debajo de 0.907, además de una varianza total explicada para un solo factor de 80.20%.

Tabla 9 Prueba de KMO para sustentabilidad 6

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.660
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	57.716
	gl	10
	Sig.	.000

Fuente: elaboración propia

Una vez definidos los ítems que mejor explican a la dimensión se trabajo en la confiabilidad del instrumento donde se obtuvo un Alfa de 0.935 (ver Tabla 10), el cual se encuentra dentro del rango de aceptación de 0.70 a 0.95.

Tabla 10 Alfa de Cronbach para sustentabilidad 1

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.935	5

Fuente: elaboración propia

Así mismo, el Omega de McDonald nos refuerza el hecho de que el instrumento puede ser replicado al encontrarse también dentro del rango de aceptación, con 0.90 (ver Figura 7), mismo del alfa.

Figura 7 Omega para sustentabilidad

Item	Carga factorial	(CF) ²	Var. Error (1-CF ²)
SI1	0.942	0.887763	0.112237
SI5	0.874	0.764258	0.235742
SP8	0.952	0.906593	0.093407
SP9	0.853	0.727995	0.272005
SM12	0.851	0.723396	0.276604
SUMATORIA	4.472335		1.989995

Cuadrado de la suma de las cargas	20.00178
Suma del cuadrado de las cargas y la var. Error	21.99178

OMEGA	0.909512
-------	----------

Fuente: elaboración propia

El mismo procedimiento se siguió para las demás dimensiones (ver Tabla 11), donde todas las dimensiones se encuentran dentro del rango especificado, por lo tanto, no hubo necesidad de eliminar dimensiones.

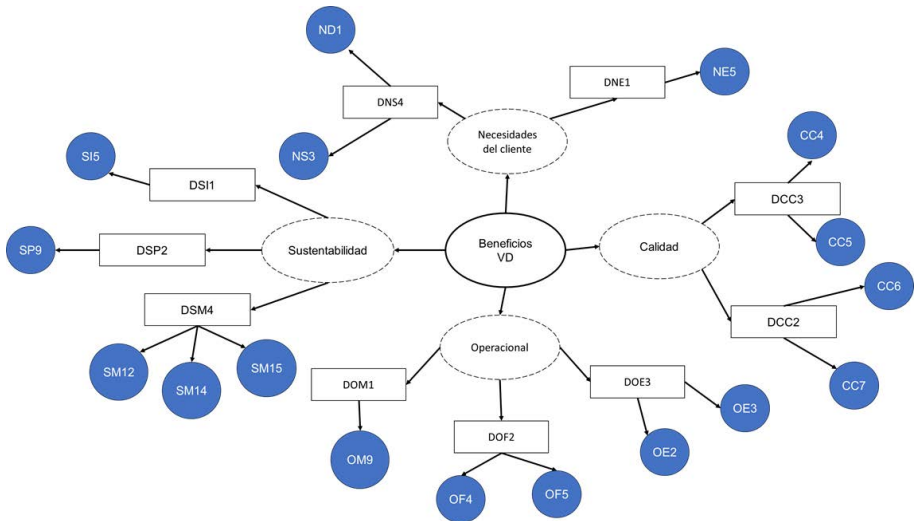
Tabla 11. Resultados finales de dimensiones

Comuna- lidad	Dimen- sión	KMO	Varianza	Alfa	Omega	
SI5	0.942	Sustenta- bilidad	0.66	80.2	0.935	0.869
SP9	0.874					
SM12	0.952					
SM14	0.853					
SM15	0.851					
CC4	0.696	Calidad	0.815	77.450	0.900	0.757
CC5	0.943					
CC6	0.943					
CC7	0.913					
NS1	0.808	Necesi- dades del cliente	0.749	83.64	0.9	0.61
NS3	0.852					
NE5	0.850					
OE2	0.872	Operacio- nal	0.635	78.51	0.918	0.864
OE3	0.865					
OF4	0.877					
OF5	0.872					
OM9	0.941					

Fuente: elaboración propia

No obstante, hubo casos en los que indicadores tuvieron que se relimnados, dejandonos una variables con cuatro dimensiones, 10 indicadores y 17 dimensiones (ver Figura 8).

Figura 8 Modelo exante final



Fuente: elaboración propia

Discusión y futuras líneas de investigación

En este estudio, se empleó la metodología de investigación cuantitativa para desarrollar un modelo que garantizara la solidez de los resultados obtenidos. La selección rigurosa de variables, dimensiones e ítems se fundamentó en un amplio marco de referencia respaldado por una exhaustiva revisión de la literatura, tal como destaca Yucra Quispe & Bernedo Villalta (2020). Este enfoque permitió verificar múltiples fundamentos relacionados con la investigación antes de proceder a la creación del instrumento. A pesar de que existen diversas técnicas disponibles para la investigación cuantitativa, como encuestas, test psicométricos y listas de cotejo, se optó por estructurar el instrumento en forma de cuestionario. Este método, mencionado por Reyes, Olaya, & Gamboa, (2019) facilita la obtención de opiniones directas sobre un tema específico al dirigir preguntas a un grupo de individuos seleccionados.

La investigación cuantitativa se caracteriza por su enfoque en la comprobación de teorías mediante la medición numérica y el análisis estadístico (Mohajan, 2020), Este proceso analítico, apoyado en métodos

matemáticos según lo expuesto por Taherdoost (2022), permite a los investigadores establecer relaciones causales y cuantificar fenómenos con precisión y objetividad. En la validación del modelo desarrollado en este estudio, inicialmente se consideraron 56 ítems para medir la variable de beneficios. Sin embargo, tras aplicar análisis factoriales y de confiabilidad, se descartaron aquellos ítems que afectaban la calidad del instrumento. Este proceso resultó en la selección final de 17 ítems que demostraron ser válidos y confiables para evaluar los beneficios asociados a las tecnologías de la industria 4.0 en el sector automotriz.

Es importante destacar que el modelo se encontró limitado en cuestión de tiempo, por tal motivo solo se está aplicando a un estado fronterizo del país. Sin embargo, realizar una comparación de los resultados obtenidos con este modelo contra su aplicación en un estado del centro y en uno del sur nos proporcionaría una perspectiva más detallada sobre la situación del país en estos temas. Esta comparación permitiría identificar diferencias regionales en la adopción y beneficios de las tecnologías de la industria 4.0, así como las variaciones en las estrategias y desafíos enfrentados por las manufacturas automotrices en distintas zonas geográficas.

Asimismo, analizar el impacto de los beneficios contra variables distintas a las consideradas en el modelo completo sería de gran valor para entender con mayor profundidad el contexto analizado. Considerar variables adicionales permitiría obtener una visión más integral y precisa de los factores que influyen en la eficacia de las tecnologías de la industria 4.0 en el sector automotriz.

Conclusión

Es importante que, para la creación de un modelo o instrumento de medición de variables, se siga una serie de reglas que nos van garantizando la fiabilidad del instrumento, partiendo de modelos pasados que nos garantizan resultados confiables, puesto que han sido aplicados con anterioridad, pero siempre adecuándolos a lo que uno desea medir. Sin embargo, no solo basta el apoyo de una extensa revisión literaria, es importante solicitar la opinión de los expertos, explorar el punto de vista de las personas que han estado en el campo trabajando de cerca con las variables

a analizar, puesto que nos aportan observaciones específicas de acuerdo a su experiencia, no obstante, es igual de relevante el estar verificando a lo largo de la aplicación que el instrumento cumpla con los estándares estadísticos que nos garantizan que las variables o dimensiones se están midiendo de la manera correcta y que este mismo se puede funcionar de la misma manera para cada encuestado garantizando la repetitividad del instrumento. En conclusión, es de suma importancia seguir una secuencia de pasos para garantizar la eficiencia del instrumento para poder detectar si algo no está funcionando desde el inicio y no una vez que el instrumento ya haya sido aplicado.

Referencias

- AMIA. (2021). Importancia de la industria automotriz. Retrieved from https://amia.com.mx/publicaciones/industria_automotriz/
- Arcidiacono, F., Ancarani, A., Di Mauro, C., & Schupp, F. (2019). Where the Rubber Meets the Road. *Industry 4.0 among SMEs in the Automotive Sector*. *IEEE Engineering Management Review*, 47(4), 86–93. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2932965>
- Attiany, M. S., Al-Kharabsheh, S. A., Al-Makhariz, L. S., Abed-Qader, M. A., Al-Hawary, S. I. S., Mohammad, A. A., & Rahamneh, A. A. A. L. (2023). Barriers to adopt industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 299–306. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.9.013>
- Ávila-Bohórquez, J. H., & Gil-Herrera, R. de J. (2022). Proposal and Validation of an Industry 4.0 Maturity Model for SMEs. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(3), 433–454. <https://doi.org/10.3926/jiem.3673>
- AXIS. (2019). *Bajai40*. Baja California.
- Aydin Azizi, R. V. B. (2022). *Industry 4.0 Technologies, Applications, and Challenges*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Basco, A. I. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el futuro*. In *Industria 4.0 Fabricando el futuro* (pp. 26–29). Buenos Aires: Banco Interamericano de desarrollo.

- Bianchi, P., Durán, C., & Labory, S. (2019). Impact of Industry 4.0 on Manufacturing. *Transforming Industrial Policy for the Digital Age*, 11–11. <https://doi.org/10.4337/9781788976152.00006>
- Červený, L., Sloup, R., & Červená, T. (2022). The Potential of Smart Factories and Innovative Industry 4.0 Technologies—A Case Study of Different-Sized Companies in the Furniture Industry in Central Europe. *Forests*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/f13122171>
- Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809>
- Emergen Research. (2023). Top 10 Leading Companies Offering Industry 4.0 Solutions. Retrieved from <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-leading-companies-offering-industry-4-0-solutions>
- Garnica, A. G. (2020). Los retos de las Pymes en el contexto de la Industria 4.0: una revisión teórica. In *Industria 4.0 en México Elementos diagnósticos y puestas en práctica en sectores y empresas* (pp. 55–71). Ciudad de México: Plaza y Valdes.
- González Figueroa Braulio Rodrigo., Espinosa Mosqueda Rafael., & Fernández Archundia Emigdio. (2020). La Industria 4.0 Un Nuevo Reto Para El Estado De Guanajuato, México . *Industry 4.0 a New Challenge for the State of Guanajuato*, 6(1), 1–12. Retrieved from <https://www.ekotemas.cu/index.php/ekotemas/article/view/51/41>
- Hamada, T. (2019). Determinants of decision-makers' attitudes toward Industry 4.0 adaptation. *Social Sciences*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/socsci8050140>
- Hamilton, O. (2020). Industry 4.0 - Current Status and Future Trends. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86000>
- INEGI. (2023). Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/datos-primarios/iavl/#tabulados>
- Joyanes, L. (2017). *Industria 4.0 La cuarta revolución industrial*. (A. Editorial, Ed.). México.
- Kineber, A. F., Antwi-Afari, M. F., Elghaish, F., Zamil, A. M. A., Alhusban, M., & Qaralleh, T. J. O. (2023). Benefits of Implementing Occu-

- pational Health and Safety Management Systems for the Sustainable Construction Industry: A Systematic Literature Review. *Sustainability* (Switzerland), 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151712697>
- Kishorre Annanth, V., Abinash, M., & Rao, L. B. (2021). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A case study of siemens industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1969(1), 0–17. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1969/1/012019>
- Lin, D., Lee, C. K. M., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management and Data Systems*, 118(3), 589–605. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0403>
- Marc, J. (2020). How BMW is trying to modernize manufacturing. Retrieved from <https://edition.cnn.com/2020/01/23/business/bmw-rengensburg-smart-factory/index.html>
- Marizia Bolpagni, R. G. (2022). Shaping the future of construction professionals. In *Industry 4.0 for the built environment* (p. 672). London: Springer International Publishing.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>
- Mohajan, H. K. (2020). Quantitative Research: A Successful Investigation in Natural and Social Sciences. *Journal of Economic Development, Environment and People* (Vol. 9). <https://doi.org/10.26458/jedep.v9i4.679>
- Mohamed, M. (2018). Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256–265.
- Nava Aguirre, K. M., Silva Ábrego, J. G., Guajado García, A., Leyva Velázquez, O. U., & Torres Camarillo, C. Y. (2019). La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México (The incorporation of industry 4.0 in the auto parts sector in Nuevo Leon, Mexico). *Revista Innovaciones de Negocios*, 16(32), 232–270. <https://doi.org/10.29105/rinn16.32-3>
- Nimawat, D., & Gidwani, B. Das. (2023). An initial survey on the readiness of Industry 4.0 adoption in the manufacturing industries. Inter-

- national Journal of Advanced Manufacturing Technology, 129(3–4), 1613–1630. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12385-y>
- Núbia Pererira, E. W. (2020). Industry 4.0 - What Is It. In *Industry 4.0 current status and future trends* (pp. 3–12). eino Unido: IntechOpen.
- Pérez, R. (2018). Modelación de factores en la integración de la TIC en la cadena de suministro en empresas de Baja California, México. QoS Labs de México. (2022). iCluster Innovation Ecosystem. Retrieved from <https://www.icluster.mx/mapeo-de-clústeres>
- Ragulina, J. V., Ukolov, V. F., & Shabunovich, O. V. (2021). Adaptation to the risks of digitalization: New survival trends for states in a multipolar world. *Risks*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/risks9120218>
- Reyes, C. L. P., Olaya, F. A. C., & Gamboa, G. I. C. (2019). Metodología de investigación cuantitativa y cualitativa.
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. España: Debate.
- Shahin, M., Chen, F.F., Bouzary, H. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *Int J Adv Manuf Technol*, 107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00170-020-05124-0>
- Taherdoost, H. (2022). What are Different Research Approaches? Comprehensive Review of Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Research, Their Applications, Types, and Limitations. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 5(1), 53–63. <https://doi.org/10.30564/jmser.v5i1.4538>
- Ynzunza, C., Izar, J.M., Bocarando, J., Aguilar, F., Larios, O. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica*, (54), 33–45. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405835&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405835&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405835%0Ahttps://www.redalyc.org>
- Yucra Quispe, T., & Bernedo Villalta, L. Z. (2020). Epistemología e Investigación Cuantitativa. *Igobernanza*, 3(12), 107–120. <https://doi.org/10.47865/igob.vol3.2020.88>
- Zamora Iribarren, M., Garay-Rondero, C. L., Lemus-Aguilar, I., & Peimbert-García, R. E. (2024). A Review of Industry 4.0 Assessment Ins-

truments for Digital Transformation. *Applied Sciences* (Switzerland), 14(5). <https://doi.org/10.3390/app14051693>

Zulqarnain, A., Wasif, M., & Iqbal, S. A. (2022). Developing a Quality 4.0 Implementation Framework and Evaluating the Maturity Levels of Industries in Developing Countries. *Sustainability* (Switzerland), 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811298>