

Oportunidades y Retos

PARA LA ADOPCIÓN DE LA

INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

ADRIANA MARTÍNEZ MARTÍNEZ
MARÍA JOSEFA SANTOS CORRAL
REBECA DE GORTARI RABIELA

(COORDINADORAS)



OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA ADOPCIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

Primera edición: agosto de 2022

D.R.© Universidad Nacional Autónoma de México

Coordinadoras © Adriana Martínez Martínez, María Josefa Santos Corral,

Rebeca de Gortari Rabiela.

© Plaza y Valdés S. A. de C.V.

Alfonso Herrera 130, Interior 11,

Colonia San Rafael

Ciudad de México C.P. 06470.

Teléfono 55 50 97 20 70

www.plazayvaldes.com.mx

Coordinación del proyecto editorial: Claudia Valdés

Corrección de estilo: Claudia Valdés

Diseño y formación de interiores: Claudia Valdés y Ana Laura Pasilla

Diseño de portada: María Rosa Encinas.

ISBN: 978-607-8788-73-6 (PyV impreso)

ISBN: 978-607-30-6444-6 (UNAM impreso)

ISBN: 978-607-8788-74-3 (PyV digital)

ISBN: 978-607-30-6463-7 (UNAM digital)

Esta obra fue dictaminada por pares bajo el sistema “doble ciego”, proceso a cargo del Comité Editorial de la ENES León

CONACYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

Registro: 2000747

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio,
sin la autorización escrita del editor.

Impreso en México/*Printed in Mexico*

CONTENIDO

PRÓLOGO	11
HÉCTOR LÓPEZ SANTILLANA	

PUNTO DE PARTIDA: I4.0 ¿CÓMO VAMOS?	15
ADRIANA MARTÍNEZ • MARÍA JOSEFA SANTOS • REBECA DE GORTARI	

PARTE 1. FUNDAMENTOS

CAPÍTULO 1. FUERZAS PRODUCTIVAS EN LA DIGITALIZACIÓN: EL CONTEXTO Y ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA 4.0	23
JORDY MICHELI THIRION	

CAPÍTULO 2. DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO A LA INDUSTRIA 4.0. APROXIMACIONES A LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DESDE LAS RELACIONES INTERNACIONALES	37
MARCO LOPÁTEGUI	

CAPÍTULO 3. RELACIÓN ENTRE ACTORES Y ARTEFACTOS EN LA INDUSTRIA 4.0	59
SALVADOR DE LEÓN • LAURA P. PEÑALVA • RUTH SELENE RÍOS	

CAPÍTULO 4. LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE SU IMPLEMENTACIÓN, LA BRECHA DIGITAL Y LAS EMPRESAS	81
ALEJANDRO GARCÍA GARNICA	

PARTE 2. LAS POLÍTICAS

CAPÍTULO 5. EL IMPULSO AL SISTEMA DE INNOVACIÓN PARA TRANSITAR HACIA LA I4.0: EL CASO DE GUANAJUATO	105
ADRIANA MARTÍNEZ • MARÍA JOSEFA SANTOS • REBECA DE GORTARI	

CAPÍTULO 6. LA POLÍTICA PÚBLICA PARA EL DESARROLLO DE LA MANUFACTURA AVANZADA EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA DE 2011 A 2020	145
MARÍA DE LOURDES ÁLVAREZ MEDINA	

PARTE 3. ALGUNAS APLICACIONES

CAPÍTULO 7. LOGÍSTICA 4.0: TRANSFORMACIONES TECNOLÓGICAS Y DEL TRABAJO EN MÉXICO	169
ROCÍO AGUILAR TRUJILLO • MARCELA AMARO ROSALES	

CAPÍTULO 8. LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO: ANÁLISIS REGIONAL SOBRE EL CONOCIMIENTO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE 19 TECNOLOGÍAS	191
EDUARDO ARRIOLA • JORGE CARRILLO	

CAPÍTULO 9. AVANCES, OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA INDUSTRIA 4.0 EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO EN MÉXICO	207
RICARDO A. RODRÍGUEZ-CARVAJAL • PAULA C. ISIORDIA-LACHICA	

PARTE 4. ¿PUNTO DE LLEGADA O DE PARTIDA?

A MANERA DE CIERRE, LECCIONES APRENDIDAS Y CAMINOS A SEGUIR	245
REBECA DE GORTARI • ADRIANA MARTÍNEZ • MARÍA JOSEFA SANTOS	

ACERCA DE LOS AUTORES	249
------------------------------	------------

LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO: ANÁLISIS REGIONAL SOBRE EL CONOCIMIENTO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE 19 TECNOLOGÍAS

*Eduardo Arriola
Jorge Carrillo*

Resumen

Este estudio analiza y compara la situación actual sobre conocimiento e implementación de tecnologías de la Industria 4.0 (I4.0) de trabajadores calificados en la industria automotriz de Baja California y Chihuahua. Para esto se utilizan los resultados de las encuestas de I4.0 aplicadas en Baja California y Chihuahua, se analiza y compara la opinión de los trabajadores encuestados sobre su conocimiento de 19 tecnologías vinculadas con la I4.0 y su nivel de implementación en las empresas donde laboran. En términos generales las empresas de ambos estados tienen bajos niveles de conocimiento e implementación de I4.0. Las empresas de Chihuahua tienen un nivel superior de implementación y se encuentran mejor preparados para las tecnologías de la I4.0 que las empresas de Baja California. Las limitaciones son que se trata de encuestas de percepción, y se comparan dos estudios realizados en periodos diferentes. Los principales hallazgos son que a pesar de que Chihuahua y Baja California están a la vanguardia en el proceso de implementación de las tecnologías de la Industria 4.0, ambas regiones están aún lejos de una adopción de I4.0 generalizada y de tener un nivel de conocimiento completo por parte de sus ingenieros.

Palabras clave: Industria 4.0, ingenieros, industria automotriz, Baja California, Chihuahua, México.

Introducción

Podemos decir con cierta seguridad que existe consenso acerca de cuáles son las actuales tendencias tecnológicas en el sector automotriz: Conectividad, Autonomía, Movilidad Diversa y Electrificación (CAME). Estas tendencias forman parte de algo mayor que, en términos conceptuales, se concibe como la Industria 4.0. Por ello consideramos que conviene comprender a la I4.0 como un concepto paraguas que engloba un conjunto de tecnologías que son utilizadas en prácticamente todas las industrias y que describiremos más adelante.

El sector automotriz no sólo es un gran consumidor de las tecnologías asociadas a la I4.0 sino que también es productor de las mismas. Si bien las industrias, como las conocemos hoy en día, tienen sus propios desarrollos tecnológicos, sabemos que no son del todo independientes, ya que las empresas hacen acopio de ellas en un vasto

mercado de las tecnologías. Pero lo sobresaliente es que, con la consolidación de la I4.0, cada vez más convergen distintas ciencias, sectores e industrias específicas en un conglomerado de innovación nunca antes visto, caracterizado por un enorme dinamismo, por grandes expectativas de crecimiento y, muy particularmente, por una amplia y diversa experimentación.

El objetivo de este capítulo es determinar el conocimiento que tienen los ingenieros y la adaptación que hacen las empresas de las tecnologías asociadas a la I4.0 en dos regiones del norte de México, Baja California y Chihuahua, ambas caracterizadas por una larga tradición en la industria de la manufactura de exportación.

El estudio se enfoca en la comparación de la situación en Baja California y Chihuahua sobre el nivel de implementación de las tecnologías inherentes a la I4.0 en las maquiladoras del sector automotriz y el nivel de conocimiento de I4.0 que poseen sus trabajadores.

El capítulo está estructurado de la siguiente forma: la sección introductoria destaca la importancia de la I4.0 y del sector automotriz en Baja California y Chihuahua. Para ello, primero describiremos conceptualmente qué es la I4.0, el nivel de conocimiento y el nivel de adaptación. En el apartado metodológico se señalan y se describen los métodos utilizados para la comparación de los resultados de las estimaciones con respecto al conocimiento e implementación de 19 tecnologías de I4.0 en la industria automotriz en Baja California y Chihuahua. En el apartado de resultados se presentan primero los resultados referentes a la comparación del conocimiento – en general – de tecnologías de la I4.0, después se muestran los resultados de la comparación de los niveles de adopción – en general – de tecnologías de I4.0, incluyendo los resultados de la comparación por tipo de tecnología, por nivel de complejidad para el usuario y por nivel de novedad tecnológica. Finalmente, la sección de conclusiones resalta la importancia de la I4.0 en la industria automotriz en las regiones fronterizas, en ella se discuten los principales resultados obtenidos y posibles investigaciones futuras.

Acerca de la Industria 4.0

El término Industria 4.0 (I4.0) fue acuñado por el Gobierno Alemán en 2011 durante la Feria de la Hannover Messe en promoción de su plan estratégico denominado *High-Tech Strategy 2020 Action Plan* (Flores-Saldivar *et al.*, 2015), y consiste en la robotización, autonomía e integración de la cadena de valor. La I4.0 implementa tecnologías de digitalización, robotización, herramientas de internet y tecnologías de información y comunicación; integra sistemas ciber-físicos, productos y personas para crear un internet de las cosas y aplicarlo en el entorno industrial, habilitando de esta manera la formación de redes de manufactura (Pikas *et al.*, 2016).

El continuo cambio tecnológico promueve la implementación de nuevas tecnologías en las cadenas productivas de todos los sectores industriales, esto trae consigo

cambios que desembocan en una nueva forma de producir y consumir, (Bensusán, Eichhorst y Rodríguez, 2017; AXIS Centro de Inteligencia Estratégica, 2019). En este tenor, el paradigma productivo que propone la I4.0 promueve los beneficios de la adopción tecnológica impactando positivamente la productividad de las empresas y la calidad de los productos, además habilita la flexibilidad de la producción y reduce sus costos (Cardoso *et al.*, 2021); esto ha destacado la importancia de la Industria 4.0 en el actual contexto industrial.

Acercas del nivel de conocimiento sobre la I4.0

Es necesario destacar que la naturaleza multidimensional de la I4.0 provoca que ésta se implemente de forma diferente en cada caso. En este sentido, Carrillo *et al.* (2020) expresan que la I4.0 se construye en la práctica, “es performativa, y para que exista se necesita una continua inversión de actores comprometidos con esta nueva realidad industrial” (p. 6). Si bien, la literatura disponible en torno al término I4.0 y su implementación es abundante, los autores encuentran que la literatura acerca del conocimiento requerido por los trabajadores para implementar la I4.0 es escasa.

En este sentido, el conocimiento de la I4.0 y las tecnologías que la conforman es considerado valioso debido a que es más cercano a la acción (Ynzunza-Cortés *et al.*, 2017), y su utilidad es evaluada en virtud de las decisiones a las que conduce, tal que un mejor conocimiento ayuda a tomar mejores decisiones y esto es necesario en el contexto de una economía global cada vez más competitiva (Albarran-Trujillo *et al.*, 2020). A su vez, la transformación de la industria clásica hacia la fábrica inteligente destaca la importancia del conocimiento tecnológico, ya que en él recae el funcionamiento de la empresa, forma parte de sus productos y ayuda a diferenciar los productos y servicios (Albarran-Trujillo *et al.*, 2020).

Por su parte, Sony y Naik (2019) en un estudio realizado en la Unión Europea, encontraron que algunos de los altos mandos de las organizaciones tienen poco o nulo conocimiento del término I4.0. Por otro lado, otros líderes de la industria sí estaban familiarizados con la I4.0, sin embargo, ignoraban como implementarla en sus organizaciones.

En relación con lo anterior, Carrillo *et al.* (2020) destacan que la falta de preparación de las organizaciones y la mano de obra con bajos niveles de capacitación representan un desafío para que las empresas puedan implementar exitosamente las tecnologías de la I4.0. Además, los autores exponen que las competencias sociales o individuales, así como las técnicas utilizadas en los procesos de adopción y desarrollo de la I4.0 son de vital importancia para las organizaciones modernas.

Acerca de la implementación de la Industria 4.0

Se considera que la implementación de la I4.0 debe diseñarse en cada caso de acuerdo con el escenario específico organizacional y de producción, así como de los recursos actuales y los objetivos estratégicos de las organizaciones (Martínez, 2020). De acuerdo con (Müller, Kiel y Voigt, 2018), el tamaño de la compañía y la estructura productiva también son aspectos que deben tomarse en cuenta en el diseño de la implementación de la I4.0. Esto puede representar grandes retos, sobre todo para compañías que no poseen los medios financieros para implementar todos los aspectos de la I4.0. Los autores expresan que

en muchos casos es necesario el reacondicionamiento de sistemas existentes de producción, sin embargo, debe evitarse la implementación de la I4.0 de forma aislada del resto del sistema productivo. De ser así, la coordinación y sincronización con el equipo de producción existente puede resultar en altos niveles de complejidad y costos, lo que puede significar un gran reto para las PYMES (Müller *et al.*, 2018, p. 7) [traducción propia].

En relación con los requerimientos para la implementación de las tecnologías de la I4.0, Martínez (2020) destaca que es necesario que la organización cuente con una infraestructura tecnológica específica, así como trabajadores con perfiles multidisciplinarios y habilidades variadas. Además, Ynzunza-Cortés *et al.* (2017) exponen que el éxito de la implementación de la I4.0 depende en gran medida de la capacidad de integración en red que puedan generar las organizaciones con el propósito de habilitar la conectividad y la generación de sistemas de producción flexibles, así como la completa integración de la cadena de valor, permitiendo la operación de la nueva generación de manufactura.

Entre los desafíos que enfrentan las organizaciones para la implementación de la I4.0 Gökalp, Sener y Eren (2017) expresan que durante la etapa de desarrollo es de suma importancia definir claramente la estructura y metodología a utilizarse en las pautas a seguir para la implementación de la I4.0. Por su parte, Ynzunza-Cortés *et al.* (2017) destacan una serie de retos que deben ser tomados en cuenta entre los que se encuentran las cuestiones de seguridad, la alta inversión tecnológica que requiere la transformación a la I4.0, y la adquisición de competencias relacionadas con la gestión y análisis de datos, simulación, programación, mantenimiento predictivo, entre otras (Ynzunza-Cortés *et al.*, 2017).

Es en virtud de la vital importancia que tiene conocimiento de las tecnologías de la I4.0 en la exitosa implementación de ésta, y tomando en cuenta que los estudios en este ámbito son escasos, es que los resultados obtenidos en esta investigación adquieren importancia y arrojan luz sobre la situación actual acerca del conocimiento e implementación de la Industria 4.0 en el sector automotriz y manufacturero de Baja California y Chihuahua.

Metodología

La presente investigación se enfoca en el análisis y comparación de los niveles de conocimiento e implementación de tecnologías asociadas con la I4.0 en Baja California y Chihuahua y utiliza los resultados de la encuesta I4.0 elaborada por AXIS Centro de Inteligencia Estratégica (2019).

Las variables que se utilizan para el análisis del cuestionario aplicado fueron dos: el nivel de conocimiento acerca de tecnologías asociadas a la I4.0 de los empleados calificados en empresas de diferentes sectores económicos, y el nivel de implementación de tecnologías de la I4.0 en las empresas donde laboran los trabajadores encuestados.

El análisis toma en cuenta 19 tecnologías de I4.0 incluidas en el cuestionario:

- Manufactura aditiva (3D).
- Aprendizaje de máquina.
- Realidad aumentada.
- Realidad virtual.
- Robótica autónoma.
- Robótica colaborativa.
- Análisis de datos masivos.
- Vehículos autoguiados.
- Cómputo en la nube.
- Cadenas de bloques.
- Esquemas de ciberseguridad.
- Internet de las cosas.
- Visión computacional.
- Censado y colección digital de datos.
- Simulación avanzada/modelado digital.
- Integración vertical y horizontal de software.
- Gemelo digital.
- Monitoreo de procesos en tiempo real.
- Gestión inteligente de energía.

Para el caso de Baja California, se envió el cuestionario a alrededor de 4,500 empleados calificados de empresas de manufactura durante el mes de junio de 2019. Se obtuvieron respuestas de 164 personas arrojando un nivel de confianza del 90% con un margen de error del 6.3%. El cuestionario se administró en línea a través de correo electrónico y través de redes sociales.

La muestra obtenida incluye empleados de los departamentos de producción, ingeniería, calidad y cadena de suministros. Los puestos organizacionales de los encuestados incluyen técnicos, ingenieros, jefes de departamento, gerentes y directivos.

Las personas encuestadas pertenecen a siete sectores de manufactura: automotriz, aeroespacial, electrónica, dispositivos médicos, plásticos, metalmecánica y servicios técnicos y tecnológicos.

Los resultados generales de la encuesta se encuentran en la página de AXIS, bajo el reporte Baja I4.0/Industria 4.0 en Baja. Resultados específicos con tratamiento analítico se encuentran en dos publicaciones previas: Carrillo, Vallejo y Gomis (2022) y Carrillo, Gomis, De los Santos, Covarrubias y Matus (2020).

Para el caso de Chihuahua, también se utiliza la encuesta I4.0 elaborada por AXIS, pero se modificó la escala de medición de la encuesta para utilizar una escala Likert con 5 puntos de asignación de respuesta. El cuestionario se administró en línea a través de correo electrónico y través de redes sociales durante el período del 11 de agosto de 2020 al 3 de febrero de 2021.

Se recibieron un total de 208 respuestas, de las cuales 16 fueron eliminadas ya que mostraban inconsistencias estadísticas. La muestra final contiene las respuestas de 192 empleados que representa 92.3% del total de los cuestionarios administrados, arrojando un nivel de confianza del 90% con un margen de error del 5.95%.

La muestra obtenida incluye trabajadores de los departamentos de investigación y desarrollo, ingeniería de producto/proceso, cadena de suministros, producción, control de calidad, logística y planeación y formación de recursos humanos. Los puestos de los encuestados incluyen técnicos, ingenieros, gerentes, directivos y jefes de departamento.

Los trabajadores encuestados pertenecen a ocho sectores de manufactura: automotriz, eléctrico/electrónico/computacional, dispositivos médicos, plásticos, metalmecánica, aplicación de pintura y servicios técnicos y tecnológicos.

Para el análisis de este capítulo, utilizamos exclusivamente las empresas de manufactura automotriz localizadas en Chihuahua (que representan 42.6% del total de los encuestados) y sus proveedores indirectos de la industria de la metalmecánica (4.2%), los plásticos (5.3%) y los servicios tecnológicos (7.9%)

Resultados

A continuación, se presentan los resultados comparando los casos de Chihuahua y Baja California. Para ello se expone el nivel de conocimiento de los trabajadores calificados, en este caso ingenieros, sobre las tecnologías de la I4.0, seguido del nivel de adopción de dichas tecnologías por parte de las empresas. Enseguida se analiza el tipo de tecnología, el nivel de complejidad y el nivel de novedad de las tecnologías.

Conocimiento de tecnologías de la I4.0

La tabla 1 muestra que, en lo general, la mayoría de los trabajadores de ambos estados reportaron niveles bajos de conocimiento de tecnologías de la I4.0. Además,

Baja California tiene una mayor proporción de trabajadores que reportaron tener alto nivel de conocimiento (36.9% BCN y 19.8% CHIH) y una menor proporción de trabajadores que reportaron tener un nivel bajo de conocimiento, en comparación con los trabajadores de Chihuahua (63.1% BCN y 80.21% CHIH).

El sector automotriz sigue el mismo comportamiento, Baja California tiene una mayor proporción de trabajadores con alto conocimiento (29.4% BCN y 24.7% CHIH) y una menor proporción de trabajadores que reportaron tener un nivel bajo de conocimiento (70.6% BCN y 75.3% CHIH), sin embargo, la brecha es más pequeña para este sector.

La misma dinámica ocurre para el resto de los sectores, una vez más Baja California muestra una mayor proporción de trabajadores con alto nivel de conocimiento (39.6% BCN y 16.22% CHIH) frente a Chihuahua, y una menor proporción de trabajadores con un bajo nivel de conocimiento al comparar ambos estados (60.4% BCN y 83.78% CHIH).

Una diferencia importante

Al revisar al sector automotriz en particular, encontramos que Chihuahua tiene una mayor proporción de trabajadores con alto nivel de conocimiento de I4.0 en comparación con el resto de los sectores (24.7% Automotriz y 16.22% Resto), mientras que, en Baja California, el sector automotriz tiene una menor proporción de trabajadores con alto nivel de conocimiento de I4.0 en comparación con el resto de los sectores (29.4% Automotriz y 39.6% resto).

Adopción de tecnologías de la I4.0

En lo general, la mayoría de las empresas de ambos estados reportaron tener niveles bajos de adopción de tecnologías de la I4.0. Además, Baja California tiene una mayor proporción de empresas con alto nivel de adopción de I4.0 (46.7% BCN y 26.04% CHIH) y una menor proporción de empresas con bajos niveles de adopción de I4.0 (53.3% BCN y 73.96% CHIH).

En cuanto a las empresas del sector automotriz, la mayoría de las empresas de Baja California reportaron tener un alto nivel de adopción de tecnologías de la I4.0 [56.3% BCN y 30.86% CHIH]. Mientras que en Chihuahua la mayoría de las empresas del sector automotriz reportaron tener un nivel bajo de adopción de I4.0 (69.1% CHIH y 43.70% BCN).

Para el resto de los sectores, la mayoría de las empresas de ambos estados reportaron tener un nivel bajo de adopción de tecnologías de la I4.0 (77.48% CHIH y 56.8% BCN). Sin embargo, proporcionalmente hablando, son más las empresas de Baja California con un alto nivel de adopción de I.40 (43.2% BCN y 22.52% CHIH).

En ambos estados, una proporción mayor de empresas del sector automotriz reportaron tener un nivel alto de adopción de tecnologías de la I4.0 en comparación con las empresas del resto de los sectores. En Chihuahua, el 30.9% de las empresas del sector automotriz reportaron un alto nivel de adopción de I4.0, contra 22.5% de las empresas del resto de los sectores. En Baja California, 56.3% de las empresas del sector automotriz reportaron un alto nivel de adopción de I4.0, contra 43.2% de las empresas del resto de los sectores.

Tabla 1 Nivel de conocimiento y adopción de tecnologías de I4.0 en empresas del sector automotriz y el resto en Chihuahua y Baja California

		Nivel de conocimiento de tecnologías de I4.0		Nivel de adopción de tecnologías 4.0		Nivel en el sector (media)*	
Entidad	Sector	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Conocimiento	Adopción
Chihuahua N=192	Automotriz	75.31%	24.69%	69.14%	30.86%	0.47	0.463
	Resto	83.78%	16.22%	77.48%	22.52%	0.424	0.436
	Total	80.21%	19.79%	73.96%	26.04%	0.443	0.447
Baja California** N=66	Automotriz	70.60%	29.40%	43.70%	56.30%	0.404	0.391
	Resto	60.40%	39.60%	56.80%	43.20%	0.323	0.41
	Total	63.10%	36.90%	53.30%	46.70%	0.345	0.405

Fuente: elaboración propia con información de la Encuesta I4.0 de Baja California y la encuesta I4.0 de Chihuahua.

- Notas: * Nivel representa un indicador que va de 0 a 1, donde el 0 indica la ausencia del indicador y 1 es su nivel máximo.
 ** Los datos de Baja California fueron tomados de Carrillo, et al., 2022, tabla 3.

Adopción por tipo de tecnología

Los resultados de la tabla 2 indican que las empresas de Chihuahua tienen un nivel mayor (0.48) de implementación de tecnologías *tangibles* de I4.0 en comparación con las empresas de Baja California (0.37). Además, las empresas de Chihuahua tienen un nivel mayor (0.43) de implementación de tecnologías *intangibles* de I4.0 en comparación con las empresas de Baja California (0.33).

Por otro lado, ambos estados tienen un nivel mayor de implementación tecnologías tangibles (0.48 CHIH y 0.37 BCN) y un nivel menor de implementación de tecnologías intangibles (0.43 CHIH y 0.33 BCN).

En el caso del sector automotriz, las empresas en Chihuahua tienen un nivel superior de implementación de tecnologías tangibles (0.50) e intangibles (0.45) que las empresas del sector automotriz de Baja California (0.46 y 0.37 respectivamente).

De forma similar, las empresas del resto de los sectores de Chihuahua tienen un nivel superior de implementación de tecnologías tangibles (0.47) e intangibles (0.42) que las empresas del resto de los sectores de Baja California (0.33 y 0.32 respectivamente).

Adopción por nivel de complejidad para el usuario

Los resultados obtenidos en torno a la adopción de tecnologías de acuerdo con su nivel de complejidad para el usuario muestran que las empresas de Chihuahua tienen un nivel superior de implementación de tecnologías de I4.0 en todos los niveles de complejidad para el usuario, siendo las tecnologías de baja complejidad las más utilizadas en ambos estados (0.48 CHIH y 0.39 BCN), le siguen las tecnologías de media complejidad (0.46 CHIH y 0.35 BCN), y las tecnologías de alta complejidad muestran los menores niveles de adopción (0.41 CHIH y 0.29 BCN).

Esta misma dinámica sucede para las empresas del sector automotriz, donde las tecnologías de baja complejidad para el usuario son las más utilizadas en ambos estados (0.49 CHIH y 0.45 BCN), seguidas de las tecnologías de media complejidad (0.47 CHIH y 0.42 BCN) y las tecnologías de alta complejidad muestran los niveles más bajos de implementación (0.43 CHIH y 0.33 BCN). Siendo el estado de Chihuahua el que presenta niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 para todos los niveles de complejidad para el usuario.

Un comportamiento similar ocurre con las empresas del resto de los sectores, de tal forma que, las tecnologías de baja complejidad para el usuario, son las más utilizadas en ambos estados (0.46 CHIH y 0.37 BCN), seguidas de las tecnologías de media complejidad (0.44 CHIH y 0.32 BCN) y las tecnologías de alta complejidad muestran los niveles más bajos de implementación (0.40 CHIH y 0.27 BCN). Siendo el estado de Chihuahua, una vez más, el que presenta niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 para todos los niveles de complejidad para el usuario.

Es destacable que, en ambos estados, son las empresas del sector automotriz las que tienden a mostrar niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 sin importar el nivel de complejidad de estas.

Tabla 2. Nivel promedio de implementación de tecnologías I4.0 por tipo, nivel de complejidad y nivel de novedad de los sectores de manufactura de Chihuahua y Baja California

Grupo de 19 tecnologías de I4.0									
Entidad	Sector	Tipo		Complejidad para el usuario			Novedad		
		Tangible	Intangible	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Chihuahua N=192	Automotriz	0.50	0.45	0.49	0.47	0.43	0.49	0.47	0.43
	Resto	0.47	0.42	0.46	0.44	0.40	0.45	0.45	0.38
	Promedio	0.48	0.43	0.48	0.46	0.41	0.47	0.46	0.41
Baja Cali- fornia** N=66	Automotriz	0.46	0.37	0.45	0.42	0.33	0.43	0.43	0.27
	Resto	0.33	0.32	0.37	0.32	0.27	0.36	0.33	0.23
	Promedio	0.37	0.33	0.39	0.35	0.29	0.38	0.35	0.24

Fuente: elaboración propia con información de la encuesta I4.0 de Baja California y la encuesta I4.0 de Chihuahua.

Notas:

- * Nivel representa un indicador que va de 0 a 1, donde el 0 indica la ausencia del indicador y 1 es su nivel máximo.
- ** Los datos de Baja California fueron tomados de Carrillo, *et al.*, 2022. Tabla 4.

Adopción por nivel de novedad

Los resultados obtenidos para el nivel de implementación de tecnologías de I4.0 de acuerdo con el nivel de novedad siguen el mismo comportamiento que los resultados obtenidos para el nivel de implementación de tecnologías de I4.0 de acuerdo con su nivel de complejidad para el usuario (tabla 2).

Los resultados muestran que las empresas de Chihuahua tienen un nivel superior de implementación de tecnologías de I4.0 en todos los niveles de novedad, siendo las tecnologías con un bajo nivel de novedad las más utilizadas en ambos estados (0.47 CHIH y 0.38 BCN), le siguen las tecnologías de nivel medio de novedad (0.46 CHIH y

0.35 BCN), y las tecnologías con alto nivel de novedad muestran los menores niveles de adopción (0.41 CHIH y 0.24 BCN).

De forma similar, en ambos estados, las empresas del sector automotriz presentan un nivel mayor de implementación de tecnologías con bajo nivel de novedad (0.49 CHIH y 0.43 BCN), seguidas de las tecnologías con nivel medio de novedad (0.47 CHIH y 0.43 BCN) y las tecnologías con alto nivel de novedad muestran los niveles más bajos de implementación (0.43 CHIH y 0.27 BCN).

El estado de Chihuahua es el que presenta niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 para todos los niveles de novedad.

En relación con las empresas del resto de los sectores, una vez más, el comportamiento es similar, es decir, las tecnologías con un bajo nivel de novedad son las más utilizadas para el caso de Baja California (0.45 CHIH y 0.36 BCN), mientras que para Chihuahua, se muestra el mismo nivel de implementación que las tecnologías con un nivel medio de implementación (0.45 CHIH y 0.33 BCN) y las tecnologías con alto nivel de novedad muestran los niveles más bajos de implementación para ambos estados (0.38 CHIH y 0.23 BCN). Siendo de nuevo, el estado de Chihuahua el que presenta niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 para todos los niveles de complejidad para el usuario.

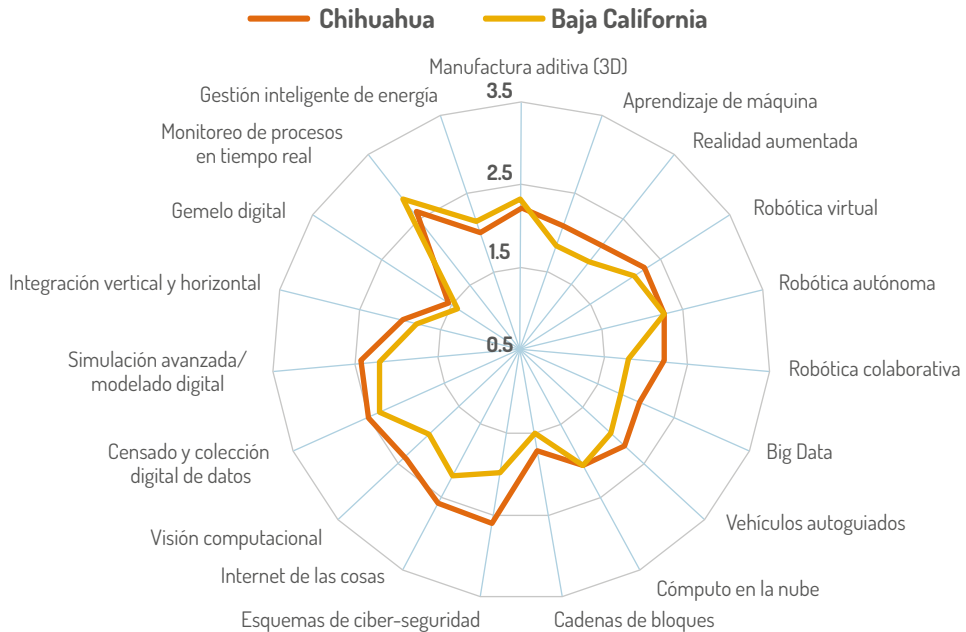
Es destacable que, en ambos estados, son las empresas del sector automotriz las que tienden a mostrar niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 sin importar el nivel de complejidad de éstas.

La figura 1 muestra los promedios de los niveles de conocimiento reportados para 19 tecnologías de la I4.0 en los estados de Baja California y Chihuahua. El nivel tiene un rango que va de 1 a 5 donde un valor igual a 1 significa la ausencia de conocimiento y un valor igual a 5 implica el nivel más alto de conocimiento.

Se observa que ambos estados, en lo general, muestran niveles similares de conocimiento de tecnologías de I4.0. Destacan las tecnologías de monitoreo de procesos en tiempo real, censado y colección digital de datos, internet de las cosas, esquemas de ciberseguridad y robótica autónoma como las más conocidas por los trabajadores de ambos estados. Por otro lado, gemelo digital y cadenas de bloques son las tecnologías que presentaron los niveles más bajos de conocimiento en ambos estados.

También es destacable, que las diferencias de conocimiento más notorias se dan en las tecnologías de esquemas de ciberseguridad, visión computacional, internet de las cosas, robótica colaborativa y aprendizaje de máquina, siendo los trabajadores del estado de Chihuahua los que poseen los niveles más altos.

Figura 1. Nivel de conocimiento de tecnologías de I4.0 en Chihuahua y Baja California



Fuente: elaboración propia con datos de las encuestas I4.0 de Baja California y Chihuahua.

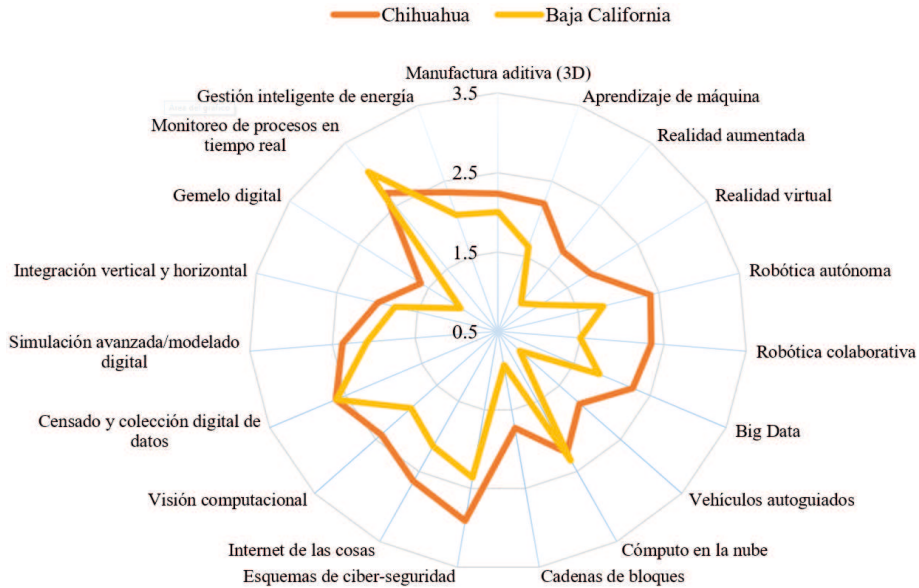
La figura 2 muestra los promedios de los niveles de implementación reportados para 19 tecnologías de I4.0 en los estados de Baja California y Chihuahua. El nivel tiene un rango que va de 1 a 5 donde un valor igual a 1 significa la ausencia de implementación y un valor igual a 5 implica el nivel más alto de implementación.

La gráfica muestra que, en lo general, ambos estados muestran niveles similares de implementación de tecnologías de I4.0. Destacan las tecnologías de monitoreo de procesos en tiempo real, esquemas de ciberseguridad, censado y colección digital de datos e internet de las cosas como las más utilizadas en ambos estados. Por su parte, las tecnologías de realidad virtual, realidad aumentada, vehículos autoguiados, gemelo digital y cadenas de bloques son las tecnologías que presentaron los niveles más bajos de implementación en ambos estados.

En torno a las diferencias de implementación más notorias entre los estados, son las tecnologías de vehículos autoguiados, robótica colaborativa, realidad aumentada, cadena de bloques y realidad virtual las que presentaron las brechas de implementación más grandes entre los estados, siendo las empresas del estado de Chihuahua las que poseen los niveles más altos.

Si bien, las empresas de Chihuahua reportaron tener niveles superiores de implementación en la mayoría de las tecnologías de I4.0, las empresas de Baja California presentan niveles superiores de implementación en las tecnologías de monitoreo de procesos en tiempo real y cómputo en la nube.

Figura 2 Nivel de implementación de tecnologías de I4.0 en Chihuahua y Baja California



Fuente: elaboración propia con datos de la encuesta I4.0 de Baja California y Chihuahua.

Conclusiones

Como hemos podido comprobar, la Industria 4.0 está presente en algunas regiones de México, como es el caso de la frontera norte del país. Chihuahua y Baja California son dos estados con una larga tradición industrial de más 50 años, así como una clara vocación exportadora. Las empresas maquiladoras establecidas en estas regiones han dado paso a la incorporación de diversas tecnologías de la I4.0. Esto ha ido de la mano con el nivel de conocimiento que requieren tener los recursos humanos calificados. Dada la importancia del sector automotriz, particularmente de autopartes en el caso de Chihuahua es de esperarse que este proceso haya iniciado antes y con mayor fuerza en comparación con el de Baja California. Pero como no existen datos

al respecto, tuvimos que comparar dos estudios realizados en periodos diferentes. Primero en Baja California y un par de años después en Chihuahua.

Los resultados arrojan datos diversos y diferencias según la tecnología particular que se analice. Pero en términos generales, y como claramente indican los gráficos presentados, las empresas en Chihuahua están más avanzadas en este proceso de adopción de las tecnologías de la I4.0 que las empresas de Baja California. Otro tanto sucede con los recursos humanos calificados, los cuales están mejor preparados para trabajar con estas tecnologías en Chihuahua que en Baja California.

En todo caso, lo más relevante es que ambas regiones están aún lejos de una adopción generalizada y un conocimiento más completo por parte de sus ingenieros. Como se sabe, las regiones industriales, especialmente las exportadoras, como Querétaro, Guanajuato, Jalisco y desde luego los estados del norte de México, particularmente Nuevo León, Chihuahua y Baja California, están a la vanguardia en el proceso de implementación de las tecnologías de la Industria 4.0. Se requieren más estudios cuantitativos para conocer la difusión de la I4.0 en México, así como más estudios cualitativos para comprender el significado de esta tendencia tecnológica.

Es evidente que el cambio tecnológico será más agresivo e intenso con el devenir de los años, particularmente en la industria de la movilidad. Esperemos que los gobiernos logren entender la importancia de este cambio de paradigma y la necesaria intervención con políticas públicas, con el fin de orientarse hacia un desarrollo más sustentable.

Referencias

- Albarrán-Trujillo, S., Salgado-Gallegos, M., y Pérez-Merlos, J.C. (2020). Integración de la gestión del conocimiento y la Industria 4.0, una guía para su aplicación en una organización. *Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación RILCO DS*. Recuperado de <https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/07/industria-gestion-conocimiento.html>
- Arriola, E. (2020). *Implicaciones de la Cuarta Revolución Industrial: Perspectivas Laborales en México*. (Tesis Doctoral, Programa de Doctorado en Ciencias Administrativas). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.
- AXIS Centro de Inteligencia Estratégica. (2019). *Axis Vantage Point: Baja I4.0*. Recuperado de <https://vp.inteliaxis.com/PDF/Bajai40.pdf>
- Bensusán, G., Eichhorst, W., y Rodríguez, J. M. (2017). Las transformaciones tecnológicas y sus desafíos para el empleo, las relaciones laborales y la identificación de la demanda de cualificaciones. Recuperado de <https://bit.ly/3vtWun8>

- Cardoso, G., Parra-Michel, J., Ceja-Bravo, L., Olivares, S., y Martínez-Peláez, R. (2021). ¿Qué es Industria 4.0?: Elementos clave de la Industria 4.0. *Tecnotrend*, (10), 1-10. Recuperado de <https://bit.ly/3BroKut>
- Carrillo, J., Vallejo, B. y Gomis, R. (2022). COVID-19 and industrial resilience in the Global South. The case study of the auto parts sector in Mexico. *International Journal of Automotive Technology and Management*. (En prensa).
- Carrillo, J., Gomis, R., De los Santos, S., Covarrubias, L. y Matus, M. (2020). ¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California. *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22), 1-22. <http://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.76089>
- Flores-Saldivar, A., Li, Yun, Ch., Wei-neng, Z., Zhi-hui, Z., Jun, y Chen, L. Y. (2015). Industry 4.0 with Cyber-Physical Integration: A Design and Manufacture Perspective. 21st. International conference on automation and computing (ICAC) dirigido por University of Strathclyde, Glasgow, UK. <http://eprints.gla.ac.uk/112439/1/112439.pdf>
- Gökalp, E., Şener, U. y Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. En A. Mas, A. Mesquida, R. O'Connor, T. Rout y A. Dorling (Eds.) *Software Process Improvement and Capability Determination* (pp. 128-142). Switzerland: Springer Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-67383-7_10
- Martínez-Martínez, A. (2020). Retos en la implementación de Industria 4.0: el caso de GKN Driveline, en A. Martínez, L. Álvarez y A. García (coords.) *Industria, 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas* (pp. 133-152). México: Plaza y Valdés Editores / UNAM.
- Müller, J. M., Kiel, D., y Voigt, K.-I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, 10(1), 247. <https://doi.org/10.3390/su10010247>
- Pikas, B., Zhang, X., Peek, W.A., y Lee, T. (2016). The transformation and upgrading of the Chinese manufacturing industry: Based on 'German Industry 4.0'. *Journal of Applied Business and Economics*, 18(5), 97-105. <https://articlegateway.com/index.php/JABE/article/view/870>
- Sony, M., y Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal* 27(7), 2213-2232. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>
- Ynzunza-Cortés, C., Izar-Landeta, J. y Bocarando-Chacón, J. (2017). El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Con Ciencia Tecnológica* (54), 33-45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>