

Knowledge vs adaptation: The Industry 4.0 in the case of auto parts in Baja California and Chihuahua.

(SPANISH VERSION. 05/04/2022)

Conocimiento vs adaptación: El caso de la Industria 4.0 en las autopartes de Baja California y Chihuahua.

Dr. Jorge Carrillo *

Mtro. Eduardo Arriola Ruiz**

*Colegio de la Frontera Norte carrillo@colef.mx

**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez eduardo.arriola@uacj.mx

Resumen

Baja California and Chihuahua are states with more than 50 years of industrial tradition characterized by the strong presence of exportation focused auto parts manufacturing firms known as Maquilas. In recent years, these organizations have undergone a significant transformation led by the implementation of the Industry 4.0 (I4.0) production model. In an era where technological change dictates the speed at which things are moving, companies compete to adopt technologies that can allow them to obtain the benefits of a greater technification and digitalization of their operations that in turn can have an impact on efficiency, differentiation, and cost in various areas within the organization. This situation has put the spotlight on I4.0, which involves technologies that can be used in different phases of the operation of an organization, such as design, production, logistics, sales, and customer service. To obtain the measure of the current dynamics in Baja California and Chihuahua, we followed a quantitative approach via an on-line survey developed by AXIS. The measurement instrument gathers data about the degree of knowledge and implementation of 19 technologies from the auto parts industry personnel that are familiar with I4.0. The sample considered collaborators in the production, engineering, quality, and supply chain departments, with organizational positions such as technician, engineer, department manager, general manager, and directors, among others. In the case of Baja California, AXIS carried out the survey in June 2019, and in the case of Chihuahua we carried out a modified version of the survey that utilizes a five-point Likert type scale in February 2021. The central contribution of this paper comes from information gathered by surveying engineers of the local auto parts industry and its supply chain, presenting an image of the current situation of the knowledge and use of technologies related to Industry 4.0 within the auto parts plants in Baja California and Chihuahua. Finally, the document summarizes the findings derived from the research and offers suggestions on the way forward. Through the disclosure of this work, we expect to generate awareness of the current state of development and the challenges and opportunities arising from the I4.0 model for the auto parts industry in Baja California and Chihuahua.

Introducción

En México, la industria automotriz tiene una tradición de más de 90 años. Desde su inyección, ha experimentado cambios importantes en prácticamente todas sus facetas que van desde su estructura ocupacional y sistemas de gestión, hasta las tecnologías que utiliza en sus procesos productivos (Carrillo, Gomis, De los Santos, Covarrubias, y Matus, 2020). La actual tendencia tecnológica del sector automotriz se enfoca en el diseño y producción de vehículos dotados de: Conectividad, Autonomía, Movilidad Diversa y Electrificación (CAME), características que forman parte del paraguas tecnológico que da forma al modelo productivo Industria 4.0 (I4.0).

Conviene señalar que, en el presente, las industrias generan sus propios desarrollos tecnológicos, se reconoce que no son completamente independientes, ya que las organizaciones las adquieren a través de un extenso mercado de tecnologías. No obstante, gracias a la consolidación de la I4.0, es que se ha acelerado la convergencia de diversos sectores, ciencias e industrias específicas en una aglomeración de innovación tecnológica sin precedentes, acentuado por un gran dinamismo, estimaciones de crecimiento acelerado y por una abundante y variada experimentación (Arriola-Ruiz y Carrillo, 2022).

En una era de continuo y acelerado avance tecnológico, las empresas adoptan continuamente tecnologías que les permiten reducir sus costos mientras mejoran la productividad de sus plantas. En este tenor, estrategias de tecnificación y digitalización de la producción son puestas en marcha al interior de las empresas en virtud de las ventajas comparativas y competitivas producto de las nuevas tecnologías. Esta situación ha resaltado el papel crucial que juega la I4.0 en el contexto productivo actual. La I4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, consiste en la integración de todos los segmentos de la cadena de valor a través de la

implementación de Sistemas Ciber-Físicos (Cyber-Physical Systems <CPS>) en los procesos de manufactura (Arvind y Bourne, 2016), emplea pero no se limita a tecnologías de recolección y análisis de datos (Big Data), inteligencia artificial (IA), simulación, digitalización y robotización; se apoya en las Tecnologías de la Información (IT) para conectar todos a todos los miembros de la red productiva, opera de forma descentralizada y es capaz de trabajar con un alto nivel de autonomía (Kinzel, 2017). Sus procesos inteligentes mejoran la eficiencia de los recursos, promueven la generación de economías de escala y habilitan la producción flexible (Wang y Wang, 2016).

El modelo productivo I4.0 está siendo adoptado por diversas industrias alrededor del mundo. Hirsch-Kreinsen (2019) en un estudio para el caso alemán, identifica tres tipos de empresas de acuerdo con el nivel y tipo de tecnologías que implementan:

Empresas de digitalización de largo alcance (*far-reaching digitalization*). Utilizan tecnologías de digitalización de forma sistemática y tienen una estrategia de digitalización a largo plazo. Tienden a ser empresas con complejos procesos productivos intensivos en implementación tecnológica. La mayoría de este tipo de empresas son grandes compañías productoras de maquinaria, empresas de la industria automotriz, de fabricación de equipo electrónico, así como empresas de las industrias química y de procesamiento (Hirsch-Kreinsen, 2019).

Empresas de digitalización selectiva (*selective digitizers*). Las empresas de esta categoría se caracterizan por tener un nivel bajo de implementación de tecnologías de digitalización. Entre sus principales aplicaciones se encuentran los sistemas de planeación, internet y la computación en la nube (cloud computing). Estas empresas se encuentran en todos los sectores de manufactura, sin embargo, la mayoría de estas son PyMES (SMEs) pertenecientes a los sectores de logística y metalmecánica (Hirsch-Kreinsen, 2019).

Empresas escépticas a la digitalización (*skeptical companies or non-users*). La mayoría de estas empresas desconocen el canal por medio del cual, la digitalización de los procesos productivos podría generarles alguna ventaja. Esta categoría incluye empresas que no están interesadas en la digitalización y/o son escépticas hacia el debate actual en torno a la I4.0. Se caracterizan por la rudimentaria utilización de sistemas ERP o sistemas de control en red en conjunto con tradicionales procedimientos organizacionales. Es común que este tipo de empresas sean productoras de lotes pequeños (Hirsch-Kreinsen, 2019).

Por su parte, Pech y Vrchota (2020) a través de un estudio en República Checa proponen la siguiente tipología de empresas de acuerdo con su nivel de adopción de tecnologías de I4.0:

Empresas tecnológicas (*technological enterprises*). También denominadas como “I4 top technological enterprises”, tienden a ser empresas de tamaño mediano, tienen una implementación tecnológica alta o media-alta y pertenecen a las industrias de electrónica e ingeniería. Utilizan una amplia variedad de tecnologías de la I4.0 tales como: Big Data, computación en la nube (Cloud computing), sistemas ciber-físicos (CPS), realidad virtual (VR), aprendizaje de máquina (machine learning) e impresión 3D.

Empresas avanzadas (*advances enterprises*). Conocidas como “Advances I4 enterprises”, al igual que las empresas tecnológicas, son de tamaño mediano con una implementación tecnológica media-alta y la mayoría pertenecen a las industrias de electrónica e ingeniería. Se caracterizan por tener un alto nivel de implementación de tecnologías de IT y IS (ERP y MES). Algunas de las empresas de este tipo utilizan en menor medida tecnologías de aprendizaje de máquina (machine learning), computación en la nube (cloud computing), nanotecnología, impresión 3D o vehículos autoguiados.

Empresas iniciadas (*starting enterprises*). Tienden a ser empresas pequeñas, tienden a tener un nivel de implementación de I4.0 medio-bajo, y la mayoría pertenecen a las industrias de electrónica e ingeniería. Se caracterizan por ser empresas que comienzan a implementar tecnologías de I4.0. Utilizan tecnologías de análisis de datos, computación en la nube cuentan con infraestructura de IT. Estas empresas no utilizan robots, tecnologías de comunicación M2M o tecnologías móviles.

Empresas principiantes (*noobs enterprises*). Este tipo de empresas se caracterizan por tener un nivel muy bajo de implementación tecnológica, la mayoría son micro y pequeñas empresas. Solo una proporción pequeña de ellas tiene una estrategia de implementación de I4.0. El grueso de estas empresas produce bienes para el mercado doméstico por lo que no requieren un alto grado de adopción tecnológica. Es común que no cuenten con tecnologías nuevas o que utilicen infraestructura obsoleta de de IT (Pech y Vrchota, 2020).

En México, diferentes actores asociados al desarrollo industrial como empresas de suministros, proveedores locales, académicos e instituciones gubernamentales han llevado a cabo esfuerzos para entender y adaptarse al modelo I4.0 (Carrillo et al., 2020). Poco se ha escrito para el caso de las empresas mexicanas, sin embargo, existen investigaciones con resultados que apuntan en direcciones opuestas. Por un lado, autores como Riquelme (2019) y AXIS (2019) expresan que México tiene un considerable atraso en relación con la puesta en marcha de la I4.0, mientras que otras investigaciones han destacado los grandes avances de las PyMEs en torno a la implementación de tecnologías relacionadas con la I4.0. Tal es el caso del estudio realizado por International Data Corporation (IDC) (2017) en donde se señalan importantes avances para el caso de las empresas mexicanas, que en algunas dimensiones llegan a ser superiores que sus contrapartes alemanas.

En términos generales, y de acuerdo con los resultados del *Network Readiness Index* (NRI) publicado en 2021 por el Foro Económico Mundial (FEM) a través de su Informe Global de Tecnologías de la Información, México se posicionaba en el lugar 59 de 130 países, destacando su alto nivel de penetración de tecnologías móviles, medido a través del número de suscripciones de servicios de banda ancha. México mostró una tecnología digital robusta en virtud de su liderazgo global en las exportaciones de alta tecnología y su manufactura de media-alta y alta tecnología. Asimismo, el país obtuvo un alto puntaje en el indicador relativo a la publicación y uso de datos abiertos (NRI, 2021).

Los desafíos que propone la Industria 4.0

En cuanto a los retos que se identifican para México, se encuentra el puntaje relativamente bajo en la adopción de tecnologías futuras, así como en la baja adopción de TICs en sus empresas debido al número reducido de técnicos e ingenieros disponibles. También es destacable que sólo una pequeña proporción de empresas mexicanas poseen una página web. Además, se identificaron deficiencias en los niveles de inclusión y confianza hacia las tecnologías digitales por parte de la población (NRI, 2021).

Varios autores han identificado un conjunto de problemáticas que se presentan al comenzar la transición hacia la I4.0. Para el caso alemán, Magdalena y Ernst (2016) señalan que captar y retener trabajadores cualificados se ha tornado una tarea complicada para las empresas de tamaño mediano. En este contexto, Hecklau, Galeitzke, Flachs, y Kohl (2016) consideran que uno de los principales retos será la generación de oportunidades para que los trabajadores puedan obtener la preparación requerida para dominar las nuevas tecnologías y puedan asegurar un puesto de trabajo.

Por su parte, Carrillo et al. (2020) señalan que los atrasos en la preparación de las empresas y los trabajadores con pocas cualificaciones representan hoy en día un desafío para que las organizaciones logren implementar con éxito la I4.0. Asimismo, los autores destacan que las competencias individuales y sociales, así como los métodos utilizados en los procesos de implementación y desarrollo de la I4.0 son recursos fundamentales para las empresas modernas. Asimismo, Ynzuna-Cortés, Izar-Landeta, y Chacón (2017) consideran que la falta de dominio en ámbitos como la programación, simulación, mantenimiento, entre otros, pueden afectar los planes de implementación establecidos.

En relación con lo anterior, Benešová y Tupa (2017) destacan que la transición hacia el modelo productivo I4.0 no podrá llevarse a cabo de rápidamente, ya que la falta de trabajadores cualificados y los altos costos de implementación, son grandes obstáculos que impiden que las empresas puedan transitar fácilmente a la I4.0. En este tenor, se espera que la adopción de la I4.0 se lleve a cabo de forma paulatina en la mayoría de las empresas. Una perspectiva similar, fue compartida por Dealer World (2018) a partir de un informe de Eaton, son las PyMEs las empresas que corren el riesgo más alto al implementar tecnologías de la I4.0. Si bien, tienden a ser más ágiles y flexibles que las grandes empresas, el riesgo económico que enfrentan al innovar, a diferencia de estas últimas, es sustancial, y de ser mal administrado, puede provocar grandes pérdidas. Además, el alto costo derivado de financiar de facto a grandes empresas como aquellas del sector automotriz pone en riesgo su limitado capital (Micheli, Carrillo, y De los Santos, 2017).

En otro orden de ideas, Kinzel (2017) advierte que, en la mayoría de los casos, la planificación de los nuevos sistemas productivos omite el factor humano en su diseño. Los sistemas tienden a enfocarse en los procesos, algoritmos y análisis; pareciera que el motivante es la de la tecnología por el bien de la misma, mientras que el factor humano suele quedar ausente en

las especificaciones de los sistemas de la I4.0. Kinzel destaca que, hay una parte importante de los trabajadores que se está dejando afuera de los procesos productivos o, al menos, sienten que se les excluye de ellos. Es por esto, que el autor señala la importancia de la participación del trabajador en todas las etapas de los procesos productivos, ya que “descuidar el factor humano en un sistema tan complejo como la I4.0 puede llevar al total fracaso del concepto” (p. 78).

El nivel de conocimiento e implementación de la I4.0

Primero, es conveniente destacar que, la literatura existente en torno a la I4.0 y su implementación en las empresas es abundante, no obstante, los estudios acerca del conocimiento que poseen los trabajadores, necesario para la exitosa implementación de la I4.0 son escasos (Carrillo et al., 2020). Algunos autores han estipulado que el conocimiento que poseen los trabajadores en relación con la I4.0 y las tecnologías que la configuran es de gran valor, pues se considera que una parte importante del conocimiento se adquiere al estar en cercanía a la acción (Ynzuna-Cortés et al., 2017). La utilidad del conocimiento y en consecuencia el dominio tecnológico que genera, son juzgados en virtud de las decisiones a las que conduce, tal que, altos niveles de conocimiento permiten la toma de mejores decisiones, subrayando la importancia del dominio de la I4.0 ante el panorama de una economía global cada vez más competitiva

(Albarrán-Trujillo, Salgado-Gallegos, y Pérez-Merlos, 2020). Asimismo, la transformación de la industria convencional hacia la fábrica inteligente hace notar la vital importancia del dominio y conocimiento de las nuevas tecnologías, ya que es en este último que se apoya el desempeño de las empresas (Albarrán-Trujillo et al., 2020).

En este contexto, Sony y Naik (2019) realizan una amplia exploración de la literatura disponible con el propósito de identificar los factores clave en los procesos de medición del nivel de preparación para la I4.0 que tienen las empresas. En su estudio, los autores encontraron que, para el caso de la Unión Europea, algunos de los directivos de importantes empresas tienen poco o nulo conocimiento del término I4.0. Además, varios altos mandos de la industria reportaron tener nociones de la I4.0, sin embargo, desconocían los métodos y estrategias para implementarla en sus empresas.

En cuanto a la implementación de la I4.0, Carrillo et al. (2020) expresan que, debido a su naturaleza multidimensional, las tecnologías de la I4.0, se tienden a adoptar de forma distinta en cada empresa. Además, destacan que la I4.0 se forja en la práctica, “es performativa, y para que exista se necesita una continua inversión de actores comprometidos con esta nueva realidad industrial” (p. 6). En este sentido, se considera que la planeación de la implementación de la I4.0 debe realizarse tomando en cuenta las peculiaridades de cada caso, como pueden serlo: el escenario organizacional y productivo, así como los recursos de las empresas y sus objetivos estratégicos (Martínez-Martínez, 2020). En este tenor, Müller, Kiel, y Voigt (2018) expone que la dimensión de la empresa, así como su sistema productivo, son elementos que deben ser tomados en cuenta en la planeación de estrategias de implementación de la I4.0. Esto se torna complicado, sobre todo para las empresas que no poseen los recursos para incorporar todos los aspectos de la I4.0. “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).

Sumándose a las limitantes financieras, la implementación de la I4.0 también se puede ver obstaculizada por otros aspectos, de acuerdo con Martínez-Martínez (2020) la capacidad de las empresas de procuración de infraestructura tecnológica específica y trabajadores con aptitudes multidisciplinarias y habilidades diversas pueden representar obstáculos para las empresas. Por su parte, Ynzuna-Cortés et al. (2017) afirman que la transición exitosa hacia la I4.0 depende principalmente del potencial de integración en red que puedan promover las empresas con el fin de garantizar la conectividad y la creación de sistemas productivos flexibles, así como la integración de la cadena de valor.

En cambio, Gökalp, Şener, y Eren (2017) destacan la importancia de especificar de forma clara y concisa durante la etapa de desarrollo, las directrices, métodos y estructura a utilizar en la implementación de la I4.0. Desde otra perspectiva, Ynzuna-Cortés et al. (2017) señalan la necesidad de tomar en cuenta aspectos como: las cuestiones de seguridad, el alto nivel de inversión en tecnología que requiere la transformación hacia la I4.0 y la obtención de las competencias asociadas con la gestión y análisis de datos.

A la luz del papel fundamental que tiene el conocimiento tecnológico en relación con la exitosa implementación de la I4.0, y en virtud de la escasez de estudios en este rubro, se considera relevante e imperativo llevar a cabo estudios de esta índole con la finalidad de avanzar el conocimiento en relación con la adopción de la I4.0.

La Industria 4.0 en México

En 2016 México realizó los primeros esfuerzos para incursionar en la adopción de sistemas de manufactura inteligente. El organismo federal ProMéxico, encargado de coordinar las

estrategias dirigidas al fortalecimiento de la participación del país en la economía internacional publicó el documento *Crafting the Future. A roadmap for Industry 4.0 in México* (Secretaría de Economía, 2021), donde se propone un plan de trabajo señalando las estrategias sugeridas para la implementación del modelo I4.0 en la manufactura mexicana. El plan de acción incluía aspectos como el IoT, CPS y la manufactura inteligente (AXIS, 2019), sin embargo, al inicio de la administración de Andrés Manuel López Obrador en 2018, se decidió eliminar el decreto que construía el fideicomiso público ProMéxico. Terminando de esta manera con la principal fuente promotora del país en materia de IED y generación de exportaciones (Perret-Erhard, 2021). Debido a la desintegración del organismo, es cuestionable si las estrategias propuestas en materia de I4.0 serán reanudadas por el gobierno actual (AXIS, 2019).

Otra iniciativa en promoción al desarrollo del modelo I4.0 en la industria de manufactura en el país, fue el Programa para el Desarrollo de la Industria de Software y la Innovación (PROSOFT), cuyo objetivo general era fomentar la innovación económica por medio de la creación y el fortalecimiento de Centros de Innovación Industrial (CII) y de políticas públicas que promovieran el desarrollo de ecosistemas de innovación. PROSOFT buscaba habilitar los ejes transversales de la I4.0, el IoT, el IoS y la logística a través de la adopción tecnológica, la generación y la especialización del recurso humano, así como la transmisión de conocimiento y el apoyo a iniciativas que beneficiaran la productividad del país (Secretaría de Economía, 2016a). Sin embargo, a partir de 2019, el gobierno actual dejó de asignar presupuesto al programa, por lo que este cesó operaciones al finalizar el año 2020 (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2021).

El último programa de este rubro en ser desarticulado por la administración de López Obrador fue el Programa para la Productividad y Competitividad Industrial (PPCI), el cual

constituía un plan del Gobierno Federal para promover el incremento de la productividad de los sectores estratégicos del país (Secretaría de Economía, 2016b). El PPCI tenía tres objetivos: (1) impulsar la modernización de los procesos productivos a través de maquinaria, equipo y soporte en materia de manufactura inteligente –I4.0–, (2) habilitar la integración inter-empresa mediante programas de certificaciones y encuentros de negocios sectoriales, y (3) la creación de Centros de Transformación Industrial con la finalidad de potenciar el desarrollo de servicios y productos especializados (Secretaría de Desarrollo Económico y Portuario, 2020). El programa permaneció activo del 2016 al 2020 y durante ese periodo se otorgó apoyo a empresas en la ejecución de proyectos industriales con el propósito de fomentar la integración de las cadenas de valor, la creación de productos competitivos y la modernización de procesos productivos (Secretaría de Economía, 2016b). El presupuesto asignado para el PPCI en 2021 fue de apenas 1.4 millones y en 2022 el programa desapareció del presupuesto de egresos de la Secretaría de Economía (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2021).

A pesar de la disolución sistemática de las iniciativas en pro del desarrollo y modernización de la producción en México, irónicamente, el Programa Sectorial de Economía 2020-2024 del Gobierno Federal aún tiene como objetivos: el fomento a la innovación y el desarrollo de la economía de los sectores productivos, así como el impulso a la generación y consolidación de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), sin embargo, es evidente que “desde la óptica presupuestal no es posible identificar los programas y recursos que permitan alcanzar dichos objetivos” (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2021, pp. 7). Además, se reconoce que el presupuesto del ramo 10 Economía, es en extremo deficiente, sobre todo en programas para el fomento de la productividad e innovación de las MIPYMES. Actualmente, el programa más importante del ramo 10, es el *Programa de Microcréditos para el Bienestar*, cuyo propósito

principal es “beneficiar a pequeños negocios o actividades productivas tradicionales, cuyo acceso a los servicios del sector financiero es limitado, para que inicie un negocio o consolide uno existente” (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2021, pp. 7). En este sentido, el paquete económico de 2022 que entregó la Secretaría de economía el 8 de septiembre de 2021, se enfoca en la expansión de los programas sociales, la reactivación de PEMEX y proyectos de infraestructura como el proyecto turístico del Tren Maya, el aeropuerto internacional de Santa Lucía, la refinería de petróleo de Dos Bocas en el estado de Tabasco y un tren en el Istmo de Tehuantepec (Cota, 2021).

Es evidente que la actual administración ha abandonado los esfuerzos por modernizar los sectores productivos del país, dejando que la iniciativa privada tome por completo las riendas del avance en la transición al modelo de la I4.0. A pesar de esto, se espera que la industria manufacturera en México invierta 3,500 millones de dólares en tecnología en 2022, lo que representa el nivel de inversión que tenía en 2019, antes de la pandemia (Riquelme, 2021). Además, han surgido propuestas de empresas privadas como *Innovar por México* de la transnacional Microsoft, que tiene como objetivo fomentar la transformación digital de las MIPYMES del país (Cluster Industrial, 2021). Otra muestra es el evento Industrial Transformation México (ITM) celebrado anualmente durante el mes de octubre en la ciudad de León Guanajuato (ITM, 2022).

El foro a gran escala trata temas relacionados con la I4.0 y es considerado una sede de la feria de Hannover Messe en México (AXIS, 2019). Adicionalmente, las iniciativas de los Gobiernos estatales para la implementación de tecnologías de la I4.0, como lo es el caso de la iniciativa Nuevo León 4.0 (Córdova, 2017) y el Programa Estatal para el Desarrollo de Tecnología

e Innovación (PEDETI) de Querétaro (Contreras, 2021), han tomado una renovada importancia en el desarrollo regional del país.

Conviene señalar que a la fecha no se han publicado investigaciones de esta naturaleza para la región, y los estudios realizados para el caso mexicano son escasos. Es por ello, que los resultados derivados de este estudio configuran un primer acercamiento regional a la situación actual de entendimiento y uso de tecnologías asociadas a la I4.0. Asimismo, representan una aportación al avance del conocimiento sobre la I4.0 y su relación con las empresas y los trabajadores.

En años recientes se han llevado a cabo diferentes esfuerzos con el propósito de estimar el nivel de implementación de tecnologías relacionadas con la I4.0 tanto en las empresas como en las regiones. Es destacable que la gran mayoría de estas investigaciones se han llevado a cabo en el continente europeo, mientras que los estudios para el caso de México y Latino América son escasos.

Metodología

El presente trabajo se centra en la estimación, análisis y comparación del nivel de implementación y conocimiento de tecnologías relacionadas con la I4.0 que poseen las empresas de manufactura en los estados de Baja California y Chihuahua. Se utilizaron los resultados de la encuesta I4.0 elaborada por AXIS Centro de Inteligencia Estratégica (2019). El análisis se realizó tomando en cuenta dos variables: (1) el nivel de conocimiento acerca de las tecnologías asociadas con la I4.0 que poseen los trabajadores de empresas de manufactura y, (2) el nivel de implementación de tecnologías de la I4.0 en las empresas dónde laboraban los trabajadores encuestados y Se recabó información acerca de las siguientes 19 tecnologías de I4.0:

- Manufactura aditiva (3D printing)
- Aprendizaje de máquina (Machine Learning)
- Realidad aumentada
- Realidad virtual
- Robótica autónoma
- Robótica colaborativa
- Análisis de datos masivos (Big Data)
- Vehículos autoguiados
- Cómputo en la nube (Cloud computing)
- Cadenas de bloques (Blockchain)
- Esquemas de ciberseguridad
- Internet de las cosas (IoT)
- 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 aplicó el cuestionario a cerca de 4,500 trabajadores cualificados que laboraban en empresas de manufactura, se recibieron respuestas de 164 trabajadores. El cuestionario se administró en línea a través de correo electrónico y través de redes sociales durante el mes de junio de 2019.

La muestra obtenida consiste en las respuestas de trabajadores con puestos organizacionales que incluyen ingenieros, directivos, gerentes, jefes de departamento y técnicos que se desempeñaban en los departamentos de producción, ingeniería, calidad y cadena de suministros. Los trabajadores encuestados 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).

De forma similar, para el caso de Chihuahua, se utiliza la encuesta I4.0 elaborada por AXIS, sin embargo, se cambió la escala de medición de la encuesta para utilizar una escala Likert con 5 puntos de asignación de respuesta. El cuestionario fue administrado en línea a través de correo electrónico y redes sociales durante el período de pandemia por COVID-19, del 11 de agosto de 2020 al 3 de febrero de 2021. Conviene destacar que durante este tiempo las empresas de manufactura de la región experimentaban restricciones de movilidad derivadas de las altas tasas contagios. Es por lo anterior, que no fue posible aplicar el cuestionario de forma presencial.

Se recabaron un total de 208 respuestas, de las cuales 16 fueron eliminadas ya que presentaron inconsistencias estadísticas. La muestra utilizada consiste en las respuestas de 192 trabajadores que representan el 92.3% del total de los cuestionarios administrados. Los empleados encuestados reportaron tener puestos organizacionales que incluyen ingenieros, directivos, gerentes, jefes de departamento y técnicos, que se desempeñaban en 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. Asimismo, pertenecen a ocho sectores de manufactura: automotriz, eléctrico/electrónico/computacional, dispositivos médicos, plásticos, metalmecánica, aplicación de pintura y servicios técnicos y tecnológicos.

Las estimaciones para los trabajadores y empresas del estado de Chihuahua, utilizan de forma exclusiva a las empresas de manufactura automotriz localizadas en Chihuahua (que representan el 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

En México, Chihuahua y Baja California son estados que se encuentran a la vanguardia en la tecnificación de su producción, no obstante, aún queda mucho camino por recorrer para lograr una completa transición al modelo productivo I.40. Adicionalmente, sus trabajadores aún no poseen los conocimientos necesarios para dominar las tecnologías inherentes a Cuarta Transformación Industrial.

En general, los trabajadores de ambos estados reportaron poseer bajos niveles de conocimiento en relación las tecnologías de la I4.0. Asimismo, las empresas de ambos estados reportaron bajos niveles de implementación tecnológica en relación con la I4.0. Como se puede apreciar en la tabla 1, los trabajadores de las empresas del sector automotriz del estado de Chihuahua tienden a tener un mayor nivel de conocimiento de la I4.0 que los trabajadores de este sector en Baja California. Además, en ambos estados, los trabajadores de la industria automotriz exhibieron un mayor nivel de conocimiento en relación con las tecnologías de la I4.0 en comparación con los trabajadores del resto de los sectores.

Tabla 1

Media del nivel de conocimiento e implementación de Industria 4.0 en Chihuahua y Baja California

Entidad	Sector	Conocimiento	Adopción
Chihuahua	Automotriz	0.470	0.463
	Resto	0.424	0.436
Baja California	Automotriz	0.404	0.391
	Resto	0.323	0.410

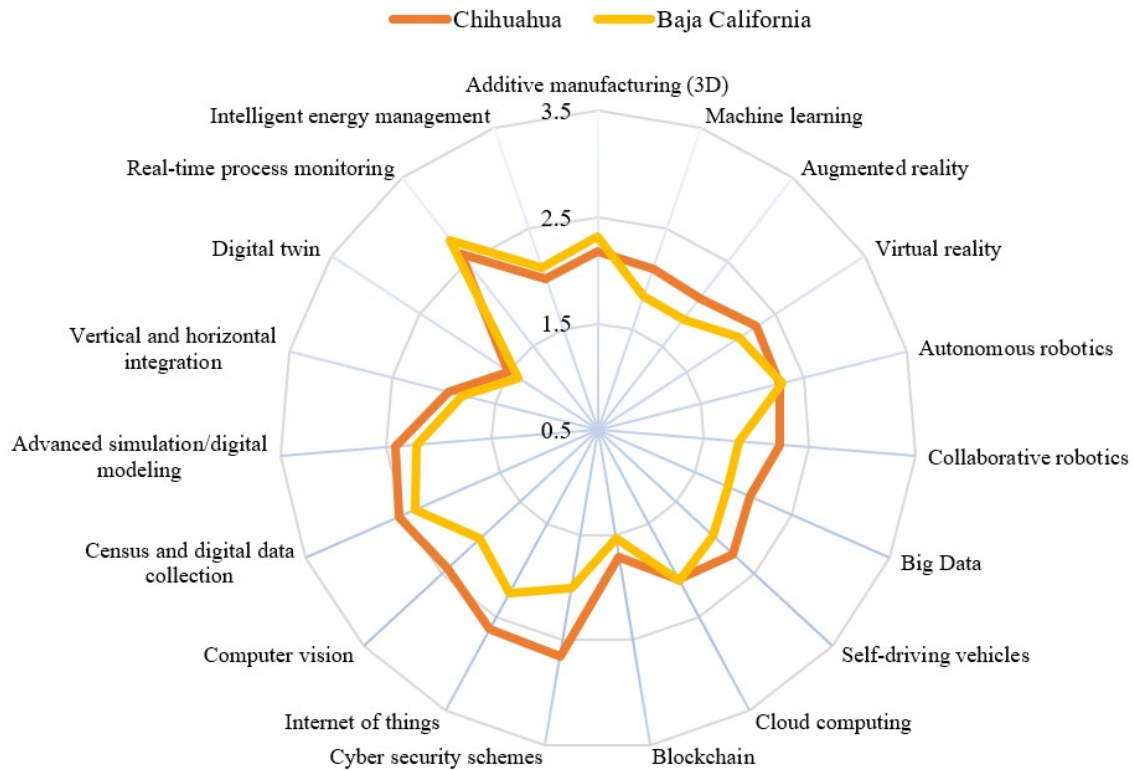
Fuente: elaboración propia con datos de las encuestas I4.0 de Baja California y Chihuahua. El rango va de 0 a 1. Un valor igual a 0 significa la ausencia de conocimiento o implementación y un valor igual a 1 implica el nivel más alto de conocimiento o implementación.

De forma similar, y en torno a la adopción tecnológica, las empresas de ambos estados reportaron poseer bajos niveles implementación de tecnologías relacionadas con la I4.0. Por su parte, las empresas del sector automotriz del estado de Chihuahua tienden a tener un mayor nivel de implementación de la I4.0 que las empresas de este sector en Baja California. Además, en ambos estados, las empresas de la industria automotriz exhibieron un mayor nivel de implementación de I4.0 en comparación con las empresas del resto de los sectores.

Conocimiento de la Industria 4.0 por tecnología

En relación con el conocimiento de las tecnologías que se tomaron en cuenta para el análisis, se observa que los trabajadores de ambos estados manifiestan niveles similares. Sin embargo, los trabajadores del estado de Chihuahua tienden a tener un nivel de conocimiento marginalmente superior al de los trabajadores de Baja California en prácticamente todas las tecnologías con la excepción de la manufactura aditiva y la gestión inteligente de energía.

Figura 1. Conocimiento de la Industria 4.0 por tecnología



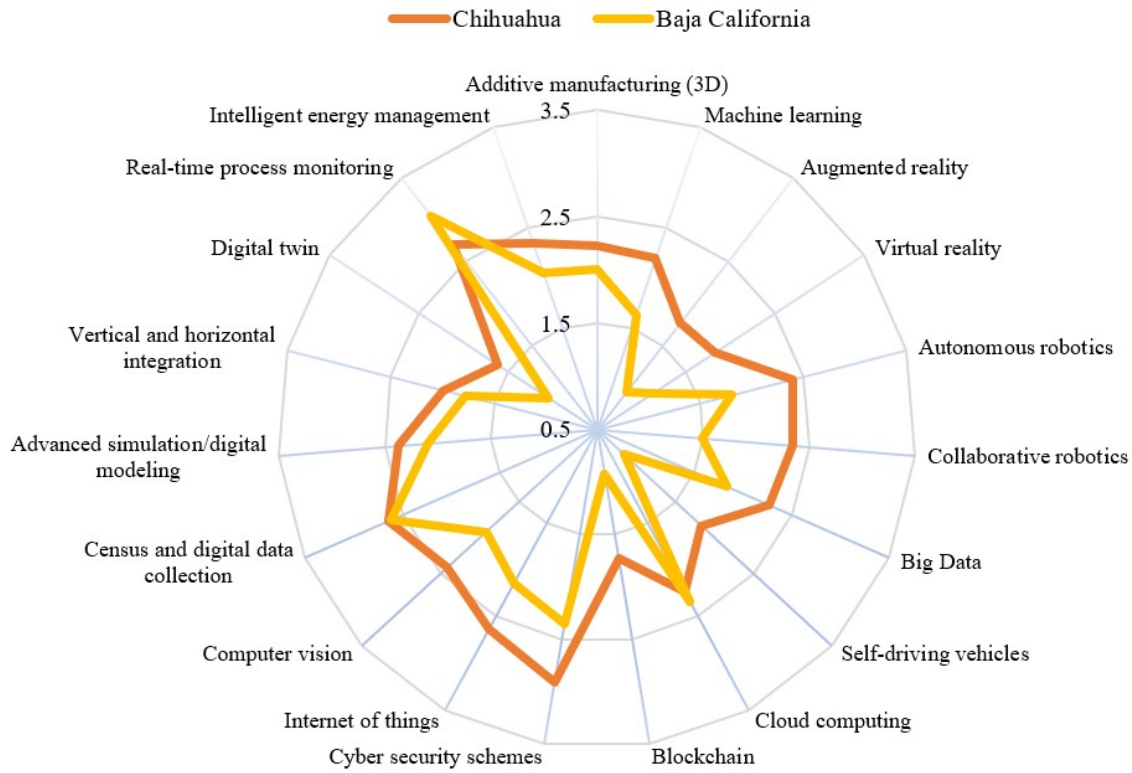
Fuente: elaboración propia con datos de las encuestas I4.0 de Baja California y Chihuahua. El rango va de 1 a 5. Un valor igual a 1 significa la ausencia de conocimiento y un valor igual a 5 implica el nivel más alto de conocimiento.

Las más conocidas por los trabajadores de ambos estados son: monitoreo de procesos en tiempo real, censado y colección digital de datos, Internet de las Cosas (IoT), esquemas de ciberseguridad y robótica autónoma. Tecnologías que tienden a tener un nivel medio-bajo de complejidad para el usuario y un nivel medio-bajo de complejidad industrial. Por otra parte, las tecnologías menos conocidas son cadenas de bloques (blockchain) y gemelo digital, ambas tecnologías son intangibles, tienen un alto nivel de complejidad para el usuario y un alto nivel de complejidad industrial.

Implementación de la Industria 4.0 por tecnología

En cuanto al nivel de implementación tecnológica, lo que se percibe, es que las empresas de Chihuahua poseen niveles superiores de prácticamente todas las tecnologías analizadas, excepto monitoreo de procesos en tiempo real y cómputo en la nube (cloud computing).

Figura 2. Implementación de la Industria 4.0 por tecnología



Fuente: elaboración propia con datos de las encuestas I4.0 de Baja California y Chihuahua. El rango va de 1 a 5. Un valor igual a 1 significa la ausencia de conocimiento y un valor igual a 5 implica el nivel más alto de conocimiento.

Las tecnologías más implementadas en ambos estados son: monitoreo de procesos en tiempo real, esquemas de ciberseguridad, censado y colección digital de datos, internet de las cosas (IoT). Estas tecnologías tienden a ser intangibles, tienen una complejidad media-baja para el usuario y tienen un nivel medio-bajo de novedad industrial. En constaste, las tecnologías menos implementadas son: realidad virtual, realidad aumentada, vehículos autoguiados, gemelo

digital y cadenas de bloques (blockchain), estas tecnologías tienden a ser intangibles y tienen un nivel medio-alto de complejidad para el usuario.

Nivel de implementación tecnológica por tipo de tecnología, complejidad para el usuario y novedad industrial

Para el análisis comparativo de implementación tecnológica se utilizó la tipología propuesta por AXIS (2019).

Tabla 2. Clasificación de tecnologías de acuerdo con el tipo de tecnología, el nivel de complejidad para el usuario y el nivel de novedad industrial

Technology	Type		Complexity			Novelty		
	Tangible	Intangible	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Additive manufacturing (3D)	✓		✓			✓		
Machine learning		✓			✓			✓
Augmented reality		✓		✓			✓	
Virtual reality		✓		✓		✓		
Autonomous robotics	✓			✓			✓	
Collaborative robotics	✓			✓			✓	
Big Data		✓			✓		✓	
Self-driving vehicles	✓		✓			✓		
Cloud computing		✓	✓				✓	
Blockchain		✓			✓			✓
Cyber security schemes		✓		✓			✓	
Internet of things		✓	✓				✓	
Computer vision	✓				✓		✓	
Census and digital data collection	✓		✓			✓		
Advanced simulation/digital modeling		✓	✓			✓		
Vertical and horizontal integration		✓		✓			✓	
Digital twin		✓			✓			✓
Real-time process monitoring	✓			✓		✓		
Intelligent energy management		✓		✓			✓	

Fuente: elaboración propia con base en (AXIS, 2019, p. 55).

Se considera que las tecnologías intangibles tienden a ser de naturaleza digital y se apoyan de interfaces visuales, mientras que las tecnologías tangibles son aquellas basadas en maquinaria y/o robots. En relación con el nivel de complejidad de las tecnologías, se considera que las empresas tienden a implementar primero las de baja complejidad, dejando para etapas posteriores las tecnologías más complejas y recientes.

Además, AXIS destaca que existe una relación positiva entre el nivel de complejidad de las tecnologías y su nivel de novedad industrial, siendo las tecnologías más recientes las que tienden a ser las más complejas para el usuario.

El análisis y comparación de los resultados de las encuestas toma en cuenta el tipo de tecnología y el promedio del puntaje de implementación de acuerdo con el tipo de tecnología, nivel de complejidad para el usuario y nivel de novedad industrial.

Tabla 3

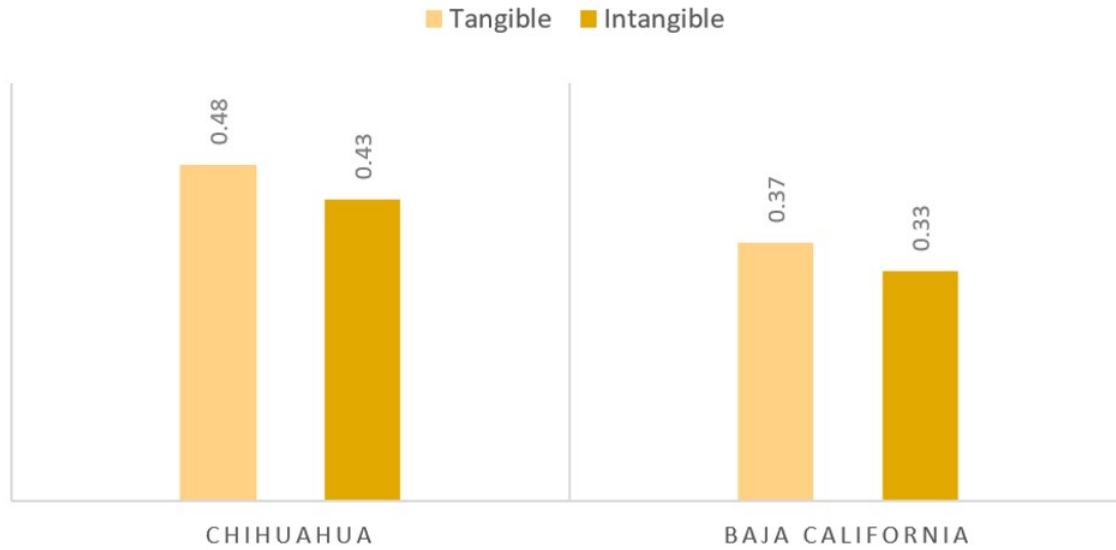
Media del nivel de implementación de tecnologías de Industria 4.0 por tipo, nivel de complejidad y nivel de novedad en el sector automotriz en Chihuahua y Baja California

Conjunto de 19 tecnologías de la Industria 4.0								
State	Tipo		Complejidad para el usuario			Novedad industrial		
	Tangible	Intangible	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Chihuahua	0.48	0.43	0.48	0.46	0.41	0.47	0.46	0.41
Baja California	0.37	0.33	0.39	0.35	0.29	0.38	0.35	0.24

Fuente: elaboración propia con datos de las encuestas I4.0 de Baja California y Chihuahua. El rango va de 0 a 1. Un valor igual a 0 significa la ausencia de implementación y un valor igual a 1 implica el nivel más alto de implementación.

Implementación por tipo de tecnología. Tomando en cuenta los resultados de las encuestas, destaca que en ambos estados se implementan en mayor medida las tecnologías de tipo tangible. Además, las empresas de Chihuahua tienen un nivel mayor [0.48] de implementación de tecnologías tangibles de I4.0 contra [0.37] de las empresas de Baja California. Asimismo, las empresas de Chihuahua tienen un nivel mayor [0.43] de implementación de tecnologías intangibles de I4.0 contra [0.33] de las empresas de Baja California. Esta dinámica ocurre de manera similar, tanto para las empresas del sector automotriz, como para las empresas del resto de los sectores.

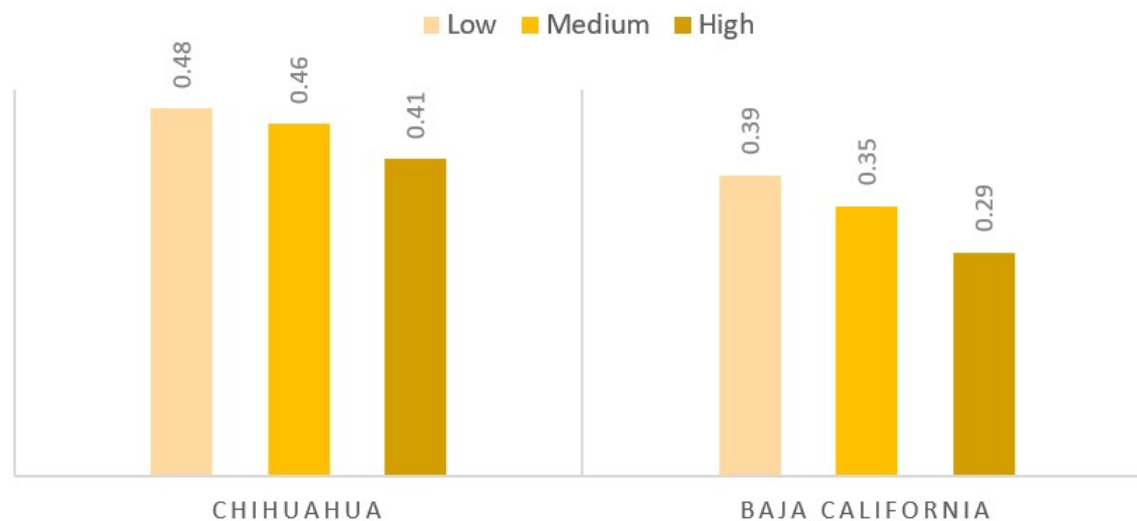
Figura 3. Nivel promedio de implementación de tecnologías I4.0 por tipo de tecnología



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

Nivel de implementación por nivel de complejidad para el usuario. 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. Asimismo, 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.

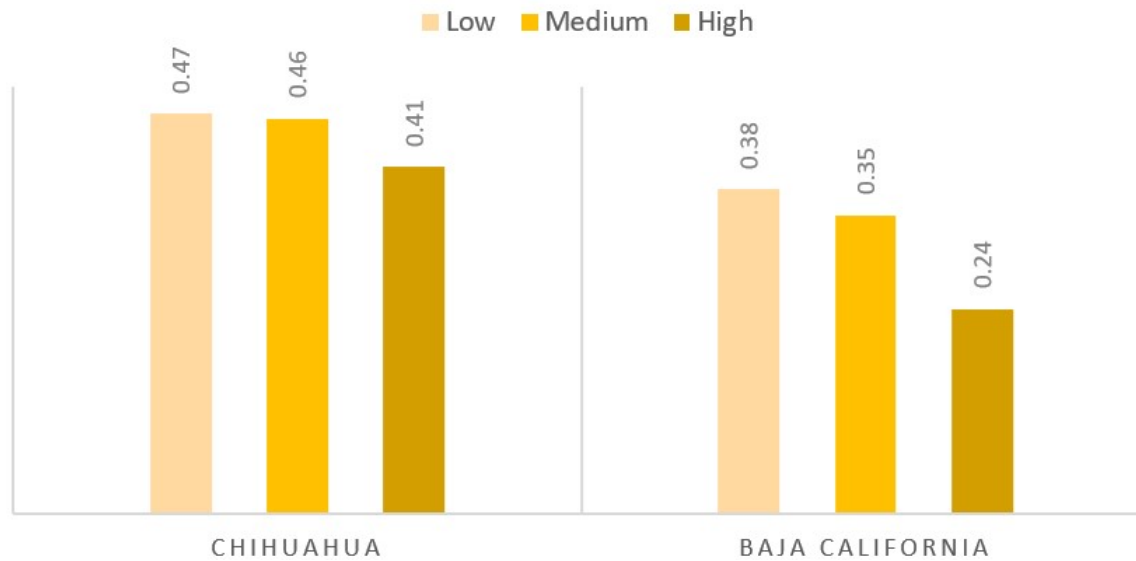
Figura 4. Nivel promedio de implementación de tecnologías I4.0 por nivel de complejidad para el usuario



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

Nivel de implementación por nivel de novedad industrial. Las empresas de Chihuahua tienden a tener 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. De igual forma, 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]. Es destacable que en ambos estados las empresas del sector automotriz muestran niveles superiores de implementación de tecnologías de I4.0 sin importar el nivel de novedad de éstas.

Figura 5. Nivel promedio de implementación de tecnologías I4.0 por nivel de novedad industrial



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

Conclusiones

La I4.0 se encuentra presente en algunas regiones de México, tal es el caso de la frontera norte del país. Chihuahua y Baja California son estados con más de 50 años de tradición industrial caracterizados por la fuerte presencia de empresas de manufactura enfocadas en la exportación conocidas como maquiladoras. Estas empresas han dado paso a la adopción de diversas tecnologías propias de la I4.0. Esto ha propiciado que el nivel de conocimiento requerido por los recursos humanos cualificados sea cada vez mayor. En virtud de la importancia del sector automotriz, sobre todo de autopartes en el caso de Chihuahua, es lógico suponer que el proceso de transición a la I4.0 se haya iniciado primero y con mayor fuerza en comparación con Baja California.

En este contexto, los resultados arrojan datos diversos y diferencias de acuerdo con la tecnología particular que se analice. No obstante, y en términos generales, las empresas de

Chihuahua se encuentran más avanzadas en el proceso de adopción de las tecnologías de la I4.0 que las empresas de Baja California. De forma similar, los trabajadores cualificados de las empresas de Chihuahua se encuentran mejor preparados para trabajar con estas tecnologías que los trabajadores de Baja California. Después de todo, podemos aseverar que ambos estados aún se encuentran lejos de tener una adopción generalizada y un conocimiento más completo por parte de sus ingenieros.

Se reconoce que, en México, las regiones industriales, sobre todo las exportadoras, como Jalisco, Querétaro y Guanajuato y, desde luego los estados del norte del país, particularmente Baja California, Chihuahua y Nuevo León, están en primera fila en el proceso de implementación tecnológica que propone el modelo I4.0. Queda claro que los procesos de tecnificación de la producción se intensificarán con el devenir de los años, particularmente en la industria automotriz. Es de vital importancia que, ante la presente transformación del paradigma productivo industrial, los gobiernos logren entender la importancia del modelo I4.0 y la necesaria intervención con políticas públicas, ya que sus implicaciones, sean para un mejor desarrollo y más sustentable, o para estrechar las enormes desigualdades existentes que están frente a nosotros.

Es evidente que se necesitan más estudios de naturaleza cuantitativa que ayuden a avanzar el conocimiento en relación con la difusión de la I4.0 en México. También se requieren más estudios cualitativos para comprender el significado de esta tendencia tecnológica y sus implicaciones en el país y en sus regiones.

Limitantes de la investigación

Al no existir datos con respecto al conocimiento e implementación de tecnologías de

I4.0, el análisis se realizó utilizando datos para periodos diferentes; primero en Baja California y un par de años después en Chihuahua.

La decisión de los encuestados de participar o no en la encuesta puede ocasionar limitaciones relacionadas con el sesgo de selección. En este caso, la autoselección de los encuestados puede significar limitaciones de validez interna.

El instrumento de medición estima la percepción de los encuestados acerca de su conocimiento y el nivel de implementación de I4.0 en las empresas donde laboran. Es por ello, que las respuestas obtenidas constituyen la opinión de los encuestados.

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. RILCO DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación (7), 6.
- Arriola-Ruiz, E., y Carrillo, J. (2022). La Industria 4.0 en México: Análisis regional sobre el conocimiento y la implementación de 19 tecnologías. (En proceso de publicación).
- Arvind, A., y Bourne, D. (2016). Architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Degree of Master of Science in Robotics. School of Computer Science Carnegie Mellon University.
- AXIS. (2019). AXIS Vantage Point: BAJA i4.0. Industria 4.0 en Baja California. Descargado de <https://vp.inteliaxis.com/PDF/Bajai40.pdf>

- Benešová, A., y Tupa, J. (2017). Requirements for education and qualification of people in industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 2195–2202.
- 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).
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. (2021). Evolución de los recursos aprobados al Ramo 10 “Economía”, 2016-2021. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2021/notacefp0512021.pdf>
- Cluster Industrial. (2021). Secretaría de Economía y Microsoft México impulsarán desarrollo de MiPyMEs. Cluster Industrial. Descargado el 12 de enero de 2022, de <https://www.clusterindustrial.com.mx/noticia/4221/secretaria-de-economia-y-microsoft-mexico-impulsaran-desarrollo-de-mipymes>
- Contreras, J. (2021). Seis proyectos que empujan la industria 4.0 en Querétaro. *Lider Empresarial*. Descargado el 12 de enero de 2022, de <https://www.liderempresarial.com/seis-proyectos-que-empujan-la-industria-4-0-en-queretaro>
- Cota, I. (2021). México producirá menos petróleo y gastará más en programas sociales en 2022. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://elpais.com/mexico/2021-09-08/mexico-producira-menos-petroleo-y-gastara-mas-en-programas-sociales-en-2022.html>
- Córdova, F. (2017). Presentan la iniciativa Nuevo León 4.0. *Manufactura Expansión*. Descargado el 12 de enero de 2022, de <https://manufactura.mx/industria/2017/05/30/presentan-la-iniciativa-nuevo-leon-40>

- Dealer World. (2018). El impacto de la Industria 4.0 en las PyMEs. Dealer World. Descargado el 12 de febrero de 2018, de <https://www.dealerworld.es/pymes/el-impac-to-de-la-industria-40-en-las-pymes>
- Gökalp, E., Şener, U., y Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-mm. En International conference on software process improvement and capability determination (pp. 128–142).
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., y Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 1–6.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2019). Industry 4.0-a path-dependent innovation. *Soziologisches Arbeitspapier*, 56.
- International Data Corporation (IDC). (2017). The Next Steps in Digital Transformation. How small and midsize companies are applying technology to meet key business goals. Descargado de <https://www.insightsforprofessionals.com/it/leadership/the-next-steps-in-digital-transformation>
- ITM. (2022). Industrial Transformation Mexico. Descargado el 12 de enero de 2022, de <https://industrialtransformation.mx/>
- Kinzel, H. (2017). Industry 4.0—where does this leave the human factor? *Journal of Urban Culture Research*, 15, 70–83.
- Magdalena, G., y Ernst, P. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *International Journal of Engineering*, XIV, 131–136.

- Martínez-Martínez, A. (2020). Retos en la implementación de Industria 4.0: el caso de GKN Driveline. *Proyectos UNAM PAPIIT IN309819 Industria 4.0, cadena global de valor y nuevos modelos de negocio: 3 estudios de caso de la industria automotriz en Guanajuato*, 4, 133–152.
- Micheli, J., Carrillo, J., y De los Santos, S. (2017). MNEs impacts on local development: The case of knowledge-intensive services in Mexico. En N. mulder (presidencia), VI conferencia redlas, tendencias y perspectivas para la producción y el comercio de servicios en América Latina y el Caribe. Conferencia dirigida por Red Latinoamericana y del Caribe para la Investigación en Servicios, San José, Costa Rica.
- 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.
- NRI. (2021). Network Readiness Index 2021. Portulans Institute. Descargado el 13 de enero de 2022, de <https://networkreadinessindex.org>
- Pech, M., y Vrchota, J. (2020). Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation. *Applied Sciences*, 10(15), 5150.
- Perret-Erhard, E. (2021). ProMéxico. Nexos. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://www.nexos.com.mx/?p=57786>
- Riquelme, R. (2019). México llega con retraso a la Cuarta Revolución Industrial. *El Economista*. Descargado de <https://www.eleconomista/>

- Riquelme, R. (2021). Industria manufacturera en México invertirá 3,500 millones de dólares en tecnología en 2022. *El Economista*. Descargado el 12 de enero de 2022, de <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Industria-manufacturera-en-Mexico-invertira-3500-millones-de-dolares-en-tecnologia-en-2022-20211201-0057.html>
- Secretaría de Desarrollo Económico y Portuario. (2020). Programa para la Productividad y Competitividad Industrial, PPCI. Descargado el 11 de enero de 2022, de <http://www.veracruz.gob.mx/desarrolloeconomico/ppci/>
- Secretaría de Economía. (2016a). Programa para el Desarrollo de la Industria de Software (PROSOFT) y la Innovación 2019. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/programa-para-el-desarrollo-de-la-industria-de-software-prosoft-y-la-innovacion-2016?state=published>
- Secretaría de Economía. (2016b). Programa para la Productividad y Competitividad Industrial, PPCI. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/programa-para-la-productividad-y-competitividad-industrial-ppci>
- Secretaría de Economía. (2021). PROMÉXICO. Inversión y comercio. Descargado el 11 de enero de 2022, de <https://www.ccmexcol.com/Cooperacion.pdf>
- Sony, M., y Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*.
- Wang, L., y Wang, G. (2016). Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 6(4), 1–8.

Ynzuna-Cortés, C., Izar-Landeta, J., y Chacón, G., Bocarando-Chacón. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia tecnológica* (54), 33–45.