Capítulo 4. Desafíos estratégicos y oportunidades del sector manufacturero mexicano en el contexto de la Industria 4.0

Mireya Clavel Maqueda*
Eduardo Cornejo Velázquez **
Diana Barrón Villaverde***

DOI: https://doi.org/10.52501/cc.468.04

Resumen

En este capítulo, se describen las tecnologías de la Industria 4.0 que se están implementando en los procesos de producción de la industria manufacturera, así como en sus actividades de gestión y control de las cadenas de valor. Se presentan los resultados del análisis de datos recolectados a través de las encuestas realizadas a empresas del sector manufacturero en México y se describen las razones por las que las empresas son motivadas a utilizar o implementar las tecnologías de la Industria 4.0 en sus operaciones. En complemento, al análisis describe los factores internos y externos que promueven la adopción de la Industria 4.0 tanto como los obstáculos que enfrentan las empresas mexicanas. Finalmente, se analizan las competencias de los trabajadores que están relacionadas directamente con la implementación y operación eficiente de dichas tecnologías en los procesos de las empresas del sector manufactura. Se cuestionó a los empresarios sobre las principales habilidades de los empleados para adoptar e implementar las

* Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Docente en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5487-9888 ; correo electrónico: mclavel@uaeh.edu.mx
** Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Docente en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0653-9459
*** Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Profesora-investigadora en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2329-362X

tecnologías digitales de la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México.

Palabras clave: *tecnologías disruptivas, factores promotores, barreras de acceso.*

Introducción

Las tecnologías digitales disruptivas están reconfigurando los procesos de producción y a las organizaciones, al mismo tiempo que perturban los modelos de negocio existentes, por lo cual las empresas deben transformarse para adoptar nuevos procesos.

El término *Industria 4.0* (I4.0) se usó por primera vez en un reporte publicado en Alemania, en abril del 2011, durante la Feria de Hannover, el cual fue presentado oficialmente bajo el subtítulo de *estrategia de alta tecnología*. El documento promueve que Alemania continúe con el liderazgo en los sectores automotrices, la ingeniería mecánica y el internet de las cosas (IoT) en entornos industriales y con las prospectivas para que este país europeo siga siendo pionero en los nuevos mercados (Kagermann et al., 2011).

En octubre de 2012, en Alemania se creó el grupo de trabajo industrial 4.0 con apoyo gubernamental. Bosch asumió el liderazgo del grupo en colaboración con Henning Kagerman. El grupo se encargó de preparar la propuesta que permitiría potenciar su posición como líderes mundiales y preparar a sus industrias para las nuevas formas de producción y de trabajo potenciadas por las nuevas tecnologías en el marco de la cuarta revolución industrial.

El informe final, presentado al gobierno alemán en 2013, destaca que para lograr el éxito de la I4.0 debe realizarse la estandarización de la arquitectura de comunicación para el *hardware*, gestión de sistemas complejos, necesidades de comunicación integrales y de alta velocidad, seguridad, organización y diseño de trabajo, educación continua, regulación y uso eficiente de los recursos (Kagermann et al., 2013).

La I4.0 presenta oportunidades, al igual que con los anteriores desarrollos de transformación, para productores innovadores, proveedores de sistemas y regiones enteras. Sin embargo, también representa una grave amenaza a los rezagados (Lorenz et al., 2015; Joshi et al., 2024; Narkhede et al., 2024).

A medida que las grandes transformaciones del mercado laboral modifican las trayectorias profesionales, existe una creciente necesidad de aprendizaje continuo, a cualquier edad, dentro y fuera de las escuelas (Motyl et al., 2017; Kumar, 2025).

La formación para adultos es vital para asegurar que aquellos que ya forman parte de la fuerza laboral, así como sus empleadores, puedan enfrentar la cuarta revolución industrial (Baena et al., 2017; Rana y Rathore, 2023).

Brindar aprendizaje flexible de nuevas habilidades o ayudar a los empleados a adquirir nuevas habilidades será un método clave para mitigar el desempleo, el acceso desigual a recursos y el desempleo (Sung, 2018; Rana y Rathore, 2023).

En casi todas las industrias, los cambios tecnológicos y socioeconómicos están limitando la participación de los empleados, debido a que se demanda nuevas competencias y habilidades. Con la finalidad de afrontar esta situación, los sistemas educativos necesitan nuevos mecanismos para motivar el compromiso individual con el aprendizaje activo (Benesova et al., 2018).

El *Informe Global de Capital Humano*, presentando en el 2018 por el Foro Económico Mundial, establece que el 84% del talento del mundo de personas menores de 25 años se optimiza por medio de la educación. Sin embargo, el porcentaje disminuye a 45% para las personas mayores de 25 (World Economic Forum, 2018).

Ante ello, la construcción de sistemas de educación preparados para el futuro exige que los programas de formación se ajusten a los requerimientos del siglo XXI. Se demanda que la educación constituya una base sólida para una vida adulta activa, en la que las personas se tendrán que adaptar y desarrollar nuevas habilidades (Coşkun et al., 2019; World Economic Forum, 2023).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es contribuir a la comprensión de las habilidades conceptuales, humanas y técnicas que son necesarias en los proyectos de adopción de I4.0 en el sector manufacturero de México. La principal contribución es la descripción de las capacidades necesarias para que los proyectos de adopción de tecnologías transiten a las fases de implantación y desarrollo.

Finalmente, se proporciona una visión relevante para que los protagonistas de los procesos de transformación definan estrategias para promover la implementación de I4.0 en sus empresas, al tiempo que sean capaces de evitar la pérdida de empleo y la falta de talento humano.

Metodología

Las preguntas de investigación que guían este trabajo son las siguientes: ¿cuáles son los retos y oportunidades para la adopción de Industria 4.0 en México?, y ¿qué habilidades deberá poseer el capital humano para aprovechar las oportunidades para generar un crecimiento individual y colectivo?

Para responder a las preguntas de investigación, se realizó un análisis cuantitativo de la opinión de empresarios mexicanos que están implementando la I4.0 en sus empresas y organizaciones. Para ello, se utilizó una muestra no probabilística por conveniencia para documentar las experiencias de algunas empresas que ya iniciaron la adopción de las tecnologías de la I4.0, que cumplen con los siguientes criterios de inclusión:

1. Son empresas con actividades desarrolladas en México que se pueden clasificar dentro del sector de la industria manufacturera.
2. Iniciaron el proceso de adopción de las tecnologías de I4.0.
3. Accedieron voluntariamente a participar (Battaglia et al., 2008).

Con base en la información incluida en el directorio empresarial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se identificaron 1034 unidades económicas dedicadas a la industria, de las cuales se recuperaron las direcciones de correo electrónico como medio de comunicación.

Durante los meses de abril y mayo del 2024, se enviaron mensajes con la invitación a participar en el estudio a los buzones electrónicos de contacto de todas las unidades económicas identificadas. Habñia una especificación en la que se solicitaba que respondieran el cuestionario sólo quienes se dedicaran a la industria manufacturera y que emplearan tecnologías de la I4.0 en sus procesos.

Obtención de datos

Se recibieron respuestas de 30 cuestionarios provenientes de empresas que ya se encuentran implementando la I4.0. Esto permitió el análisis de casos múltiples (Eisenhardt, 1989), con opiniones de 30 empresarios que ya se encuentran adoptando I4.0 en sus respectivas empresas. Posteriormente, en el periodo de junio a diciembre, se realizaron entrevistas semiestructuradas en profundidad, bien fuera por vía telefónica o por videoconferencia, con una duración de 40 a 60 minutos.

Todos los empresarios entrevistados fueron informados acerca de la finalidad del proyecto y se les avisó que su información solamente sería analizada en conjunto, sin que fuera posible identificar las respuestas de un solo caso particular, lo cual permitió contar con la disposición de los participantes para que respondieran de manera sincera y verídica (Drumwright y Murphy, 2004).

Instrumento para obtener información

El cuestionario que se aplicó a las empresas se basa en el propuesto por Stentoft et al. (2020), el cual se trata de un instrumento con preguntas cerradas para que los entrevistados elijan sus respuestas entre varias opciones de acuerdo con la que corresponda a la evolución y motivación para la adopción de la I4.0, así como a las habilidades necesarias para un desarrollo satisfactorio en sus empresas.

El instrumento para recolectar los datos se compone por siete dimensiones: datos de identificación de la empresa, implementación de la

tecnología de las I4.0, razones para implementar la I4.0, impulsores de la adopción de la I4.0, barreras para la adopción de la I4.0, habilidades de los empleados (*soft skills*) para la I4.0 y datos del empresario. En la tabla 1, se describe cómo se distribuyen las 14 preguntas del instrumento y los 55 ítems entre sus dimensiones.

Tabla 1. *Dimensiones del instrumento para recolectar datos.*

Dimensión	*Preguntas*	*Ítems*
Datos de identificación de la empresa	6	-
Implementación de tecnologías de I4.0	1	12
Razones para implementar la I4.0	1	7
Impulsores de la adopción de I4.0	1	8
Barreras para la adopción de I4.0	1	11
Habilidades de los empleados (soft skills) para I4.0	1	17
Datos del empresario	3	-

Fuente: elaboración propia con base en Stentoft et al. (2020).

Resultados

Las empresas incluidas en el estudio designaron a personas del género masculino (96.4%) para contestar las preguntas del instrumento de recolección de datos. La escolaridad de los encuestados fue de nivel de posgrado (50%), licenciatura (46.4%) y otros que no especificaron (3.6%). La edad promedio fue de 42.5 años, mientras que la moda es de 45 años, con un rango de 32 años (límite inferior: 25, y límite superior: 57).

La distribución de edades de las personas encuestadas nos permite establecer que masculinos jóvenes con formación académica a nivel de licenciatura y posgrado son quienes están al frente de las empresas del sector manufactura que se encuentran en el proceso de adopción de las tecnologías de la I4.0.

Las empresas que integran la muestra se encuentran distribuidas en los estados de Guanajuato (5), Hidalgo (5), Ciudad de México (4), San Luis Potosí (4), Nuevo León (3), Puebla (3), Querétaro (3), Jalisco (2) y Tlaxcala (1).

Por otra parte, los giros de las empresas en la muestra son: automotriz (6), alimentos (4), textil (3), consultoría (3), equipo industrial (2), así como calzado, equipos metálicos, pinturas, equipo de transporte, capacitación, farmacéuticos, curtiduria, ingeniería, *software*, análisis de datos, análisis industrial y gestión de gasolineras.

De las empresas incluidas en la muestra de estudio 42.9% son familiares y el 57.1% se consideran no familiares. Respecto del tamaño, 40% corresponden a pequeñas, 36.7% son medianas y 23.3% son grandes. Esta distribución tiene correspondencia con la forma en que se integra el sector empresarial en el país, cuya diversidad permitió analizar la opinión de empresarios en diferentes situaciones y conocer las circunstancias que enfrentan cada una de ellos.

Por otra parte, el 66.7% de empresarios encuestados respondió que su mercado principal es el nacional, mientras que el 33.3% se dirige al ámbito internacional. La media de las empresas estudiadas en lo referente a los años que llevan en operación es de 15 y un rango de 319 años (límite inferior:3, límite superior: 322).

Por lo tanto, el grupo de empresas incluidas en la muestra es heterogéneo en las dimensiones tamaño, edad, distribución y tipo.

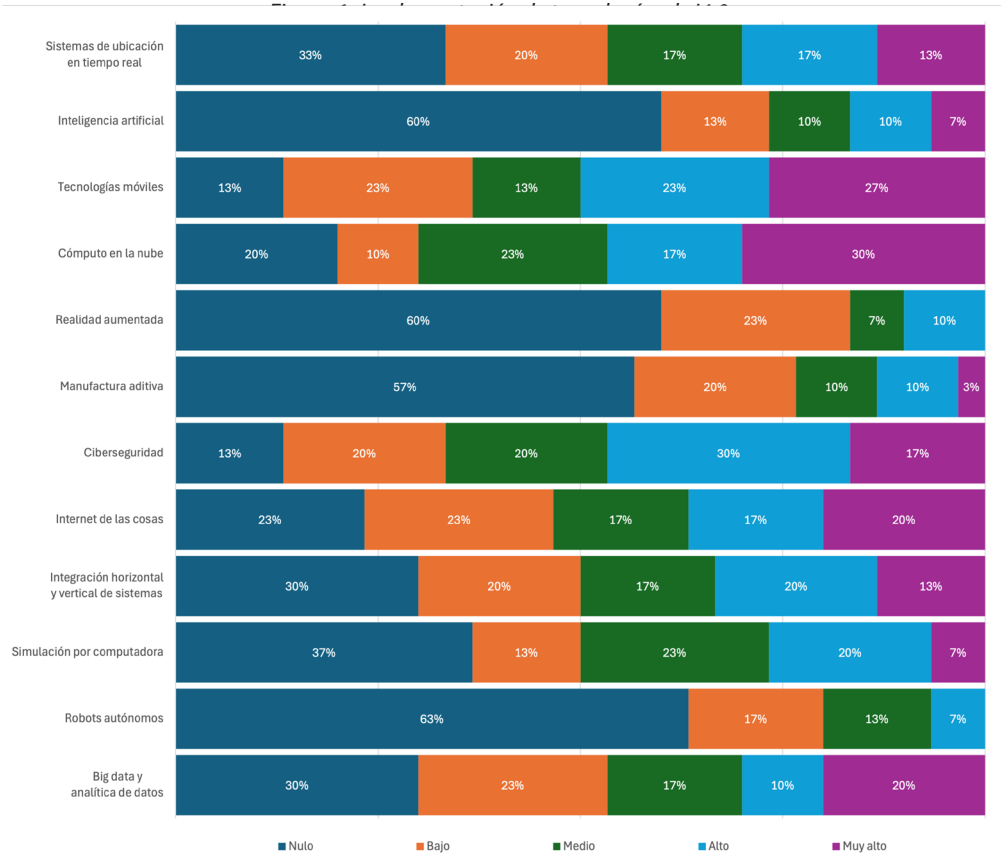
Implementación de tecnologías de la Industria 4.0

Los resultados del análisis de las respuestas de los empresarios a la pregunta: ¿en qué grado aplica las tecnologías digitales en su empresa?, se presentan en la figura 1. De acuerdo con la escala empleada (nulo, bajo, medio, alto y muy alto), se describe un escenario nacional heterogéneo y diverso en donde las tecnologías digitales de la I4.0 está siendo aplicadas en diferentes grados. Las tecnologías que tienen un mayor grado de aplicación (alto y muy alto) son:

- Tecnologías móviles (50%)
- Ciberseguridad (47%)
- Cómputo en la nube (47%)
- Internet de las cosas (37%)

Mientras que la que no se están aplicando (nulo) son:

- Robots autónomos (63%)
- Inteligencia artificial (60%)
- Realidad aumentada (60%)
- Manufactura aditiva (57%)



Fuente: elaboración propia.

El análisis detallado de cada tecnología digital de la I4.0 se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. *Aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0 en México.*

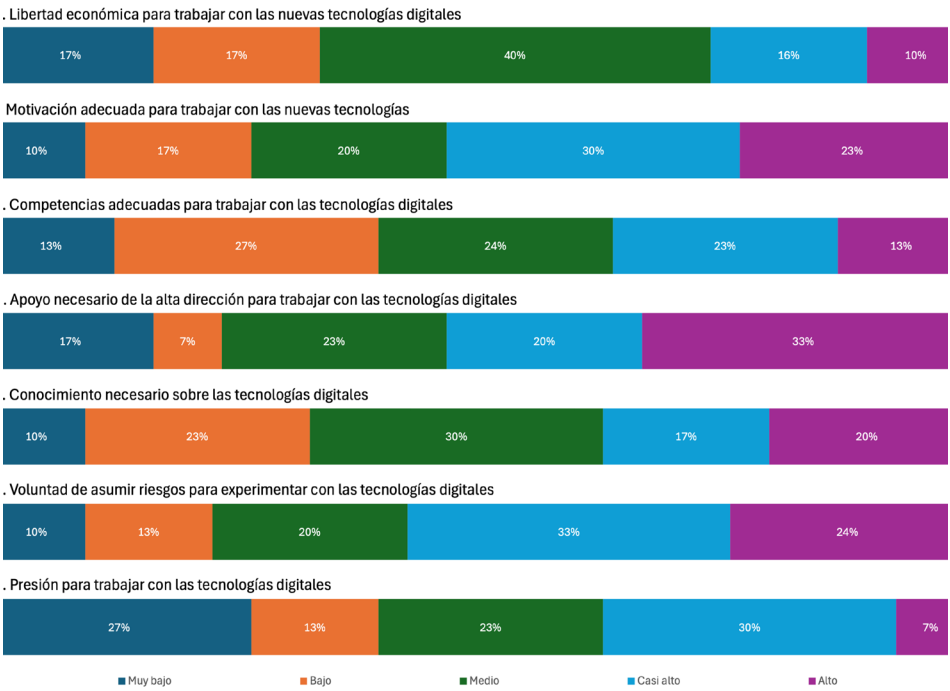
Tecnología	*Descripción*
Sistemas de ubicación en tiempo real	Se aplica en el 67% de las empresas estudiadas (niveles muy alto, alto, medio y bajo); mientras que en el 33% no se utiliza.
Inteligencia artificial	La aplicación en las empresas mexicanas del sector manufactura estudiadas es nula en el 60%; mientras que el 40% la utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Tecnologías móviles	El 87% de las empresas mexicanas del sector manufactura la utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo; el 13% no la utiliza.
Cómputo en la nube	Se aplica en el 80% de las empresas mexicanas del sector manufactura en los niveles muy alto, alto, medio y bajo; el 20% no la utiliza.
Realidad aumentada	Su aplicación es nula en el 60% de los casos; mientras que el 40% la utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Manufactura aditiva	Se aplica en el 43% de los casos en los niveles muy alto, alto, medio y bajo; el 57% no la utiliza.
Ciberseguridad	Su aplicación es nula en el 13% de los casos; mientras en el 87% se utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Internet de las cosas	El 77% la aplica en los niveles muy alto, alto, medio y bajo; el 23% no la aplica.
Integración horizontal y vertical de sistemas	La aplicación es nula en el 30% de los casos; mientras el 70% la utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Simulación por computadora	No se utiliza en el 37% de las empresas; mientras que el 63% la utiliza en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Robots autónomos	No se utiliza en el 63% de los casos. Sólo el 37% la aplica en niveles muy alto, alto, medio y bajo.
Big data y analítica de datos	El 30% de las empresas no la utilizan; mientras que el 70% la aplica en los niveles muy alto, alto, medio y bajo.

Fuente: elaboración propia.

Razones para implementar la Industria 4.0

El análisis de las respuestas de los empresarios mexicanos del sector manufactura, respecto de las razones para implementar las tecnologías de la I4.0, se presenta en la figura 2. Se utilizó la escala adaptada de Haug et al., (2011) para las categorías muy bajo, bajo, medio, casi alto y alto.

Figura 2. *Razones para implementar la Industria 4.0 en México.*



Fuente: elaboración propia.

Los resultados se describen a continuación:

- El 60% considera la presión para trabajar con las tecnologías digitales (véase figura 2 inciso a) en los niveles alto (7%), casi alto (30%) y medio (23%); mientras que el 40% asigna un nivel bajo (13%) y muy bajo (27%).
- El 77% considera la voluntad de asumir riesgos para experimentar las nuevas tecnologías digitales (véase figura 2 inciso b) en los niveles alto (24%), casi alto (33%) y medio (20%); mientras que el 23% asigna un nivel bajo (13%) y muy bajo (10%).
- El 67% considera los conocimientos necesarios sobre las tecnologías digitales (véase figura 2 inciso c) en los niveles alto (20%), casi alto

(17%) y medio (30%); mientras que el 33% asigna niveles bajo (23%) y muy bajo (10%).

- El 76% considera necesario el apoyo de la alta dirección para trabajar con las tecnologías digitales (véase figura 2 inciso d) en los niveles alto (33%), casi alto (20%) y medio (23%); mientras que el 24% asigna un nivel bajo (7%) y muy bajo (17%).
- El 61% considera las competencias adecuadas para trabajar con las nuevas tecnologías digitales (véase figura 2 inciso e) en los niveles alto (13%), casi alto (23%) y medio (24%); mientras que el 40% asigna un nivel bajo (27%) y muy bajo (13%).
- El 73% considera la motivación adecuada para trabajar con las nuevas tecnologías digitales (véase figura 2 inciso f) en los niveles alto (23%), casi alto (30%) y medio (20%); mientras que el 27% asigna un nivel bajo (17%) y muy bajo (10%).
- El 34% considera la libertad económica para trabajar con las nuevas tecnologías digitales (véase figura 2 inciso g) en los niveles alto (10%), casi alto (16%) y medio (40%); mientras que el 34% asigna un nivel bajo (17%) y muy bajo (17%).

Las principales razones para implementar la I4.0 en México son:

- Apoyo necesario de la alta dirección para trabajar con las tecnologías digitales (76%).
- Motivación adecuada para trabajar con las nuevas tecnologías digitales (73%).
- Voluntad de asumir riegos para experimentar con las tecnologías digitales (67%).

Por el contrario, los factores que no promueven la implementación de la I4.0 en México son:

- Presiones para trabajar en las tecnologías digitales (40%).
- Competencias adecuadas para trabajar con las tecnologías digitales (40%).
- Libertad económica para trabajar con las nuevas tecnologías (34%).

- Conocimientos necesarios sobre tecnologías digitales (33%).

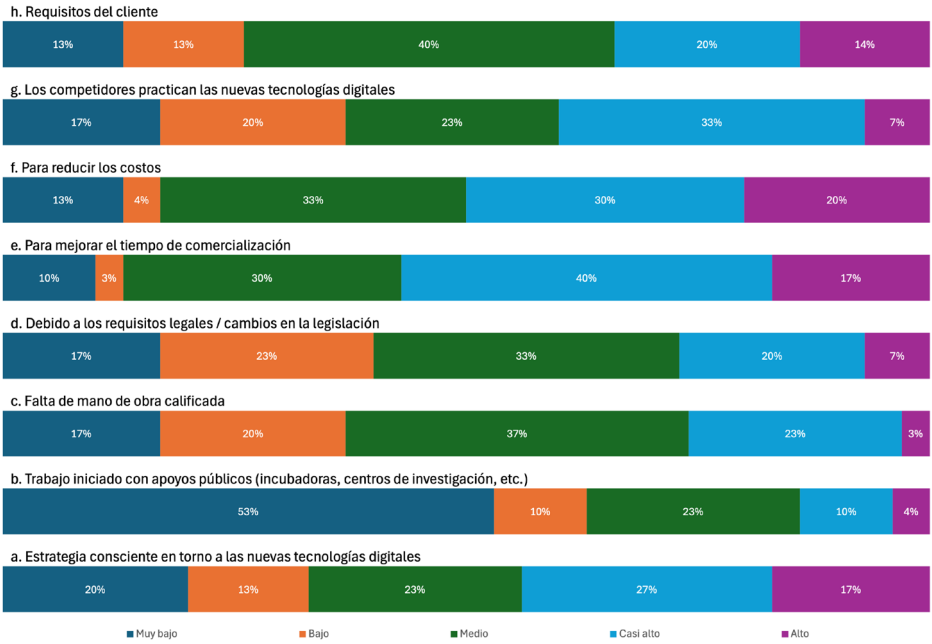
Impulsores de adopción de la Industria 4.0

Los empresarios entrevistados evaluaron los factores que impulsan a su empresa a adoptar las nuevas tecnologías digitales de la I4.0 en la escala: muy bajo, bajo, medio, casi alto y alto. Los resultados del análisis de las respuestas se presentan en la figura 3.

La adopción de la I4.0 por las empresas mexicanas del sector manufactura con base en la opinión de los entrevistados está impulsada por diferentes factores:

- El 44% considera que la *estrategia consciente en torno a las nuevas tecnologías digitales* (véase figura 3 inciso a) es un factor en los niveles alto (17%) y casi alto (27%); mientras que el 56% asigna los niveles medio (23%), bajo (13%) y muy bajo (20%).
- El 63% de los entrevistados considera que el *trabajo iniciado con apoyos públicos (incubadoras, centros de investigación, etc.)* (véase figura 3 inciso b) es un factor en los niveles bajo (10%) y muy bajo (53%); mientras que el 37% lo considera en los niveles alto (3%), casi alto (10%) y medio (23%).
- La *falta de mano de obra calificada* (véase figura 3 inciso c) es considerada en el 26% de los casos como un factor en los niveles alto (3%) y casi alto (23%); mientras que el 74% asigna los niveles medio (37%), bajo (20%) y muy bajo (17%).
- El 73% considera que la adopción de la I4.0 *debido a los requisitos legales/cambios en la legislación* (véase figura 3 inciso d) es un factor en los niveles medio (33%), bajo (23%) y muy bajo (17%); mientras que el 27% lo considera en los niveles alto (7%) y casi alto (20%).
- El 57% considera la adopción de la I4.0 *para mejorar el tiempo de comercialización* (véase figura 3 inciso e) en los niveles alto (17%) y casi alto (40%); mientras que el 43% lo considera en los niveles medio (30%), bajo (3%) y muy bajo (13%).

Figura 3. *Impulsores de adopción de la I4.0 en México.*



Fuente: elaboración propia.

- La adopción de la I4.0 *para reducir costos* (véase figura 3 inciso f) es considerado por el 50% como un factor impulsor en los niveles alto (20%) y casi alto (30%); mientras que el 50% lo considera en los niveles medio (33%), bajo (4%) y muy bajo (13%).
- El 60% considera que *los competidores que practican las nuevas tecnologías digitales* (véase figura 3 inciso g) son un factor impulsor en los niveles medio (23%), bajo (20%) y muy bajo (17%); mientras que el 40% lo considera en los niveles casi alto (33%) y alto (7%).
- La adopción de la I4.0 debido a *requisitos del cliente* (véase figura 3 inciso h) es considerado por el 66% como un factor en los niveles medio (40%), bajo (13%) y muy bajo (13%); mientras el 34% lo considera en los niveles casi alto (20%) y alto (14%).

Los principales impulsores para adoptar la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México, en los niveles casi alto y alto, son:

- Para mejorar el tiempo de comercialización (57%).
- Para reducir costos (50%).
- Estrategia consciente en torno a las nuevas tecnologías digitales (44%).
- Los competidores practican las nuevas tecnologías digitales (40%).
- Por otro parte, los factores impulsores de la adopción de la Industria 4.0 considerados en los niveles bajo y muy bajo son:
- Trabajo iniciado con apoyos público (incubadoras, centros de investigación, etc.) (63%).
- Debido a requisitos legales/cambios en la legislación (40%).
- Falta de mano de obra calificada (37%).

Barreras para el uso de nuevas tecnologías digitales

Los factores que actúan como barrera para el uso de las nuevas tecnologías de la I4.0 fueron evaluados por empresarios del sector manufactura con las escalas: muy bajo, bajo, medio, casi alto y alto. Los resultados de las respuestas se presentan en la figura 4. La adopción de tecnologías digitales de la I4.0 por empresas mexicanas de manufactura, con base en la opinión de los entrevistados, se limita por diferentes factores que actúan como barrera:

- El 27% de las personas entrevistadas considera que *la falta de conocimiento sobre las nuevas tecnologías digitales* (véase figura 4 inciso a) es una barrera en los niveles alto (7%) y casi alto (20%); mientras que el 73% de los empresarios la considera en los niveles medio (37%), bajo (23%) y muy bajo (13%).
- El 63% de los empresarios considera que la *falta de normas* (véase figura 4 inciso b) es una barrera de adopción de la I4.0 en los niveles medio (33%), bajo (17%) y muy bajo (13%). Mientras que el 37% la considera en los niveles alto (17%) y casi alto (20%).
- El 40% de las respuestas de los entrevistados considera que las empresas dan *más atención a la operación cotidiana que al desarrollo de la empresa* (véase figura 4 inciso c) en los niveles alto (17%) y casi

alto (23%); mientras que el 60% lo considera en los niveles medio (23%), bajo (23%) y muy bajo (14%).

Figura 4. *Barreras para la adopción de la Industria 4.0 en México.*



Fuente: elaboración propia.

La *falta de protección de datos (ciberseguridad)* (véase figura 4 inciso d) es considerada por el 57% de los entrevistados como una barrera de adopción de la I4.0 en los niveles medio (27%), bajo (20%) y muy bajo (10%); mientras que el 43% la considera en los niveles alto (13%) y casi alto (30%).

La *falta de personal calificado en estas tecnologías digitales* (véase figura 4 inciso e) es considerada por el 50% los empresarios del sector manufactura como una barrera de adopción de la Industria 4.0 en los niveles alto (7%) y casi alto (43%); mientras que el 50% la considera en los niveles medio (26%), bajo (17%) y muy bajo (7%).

El 40% de los empresarios entrevistados considera que la *falta de preparación de los empleados ya existentes* (véase figura 4 inciso f) constituye una barrera para la adopción de la I4.0 en los niveles bajo (27%) y muy bajo (13%); mientras que el 60% considera a este factor en los niveles medio (30%), casi alto (20%) y alto (10%).

El r*equerir de educación continua para los empleados de la empresa* (véase figura 4 inciso g) es considerado por el 30% de los empresarios del sector manufactura como una barrera de adopción de la Industria 4.0 en los niveles alto (3%) y casi alto (27%); mientras que el 70% considera este factor en los niveles medio (23%), bajo (30%) y muy bajo (17%).

El 73% de los empresarios del sector manufactura en México considera que *la falta de comprensión de la importancia estratégica de las nuevas tecnologías* (véase figura 4 inciso h) es una barrera de adopción en los niveles medio (30%), bajo (30%) y muy bajo (13%); mientras que el 27% lo considera en los niveles alto (10%) y casi alto (17%).

La *falta de comprensión de la interacción entre la tecnología y los seres humanos* (véase figura 4 inciso i) es considerada por el 47% de los empresarios mexicanos como una barrera de adopción de la Industria 4.0 en los niveles alto (13%) y casi alto (34%); mientras que el 53% considera este factor en los niveles medio (23%), bajo (20%) y muy bajo (10%).

El 77% de los empresarios del sector manufactura entrevistados valora los *pocos recursos financieros* (véase figura 4 inciso j) como una barrera de adopción de las tecnologías digitales de la Industria 4.0 en los niveles medio (20%), bajo (27%) y muy bajo (30%); mientras que el 23% considera este factor en los niveles alto (10%) y casi alto (13%).

Los *pocos recursos humanos (mano de obra)* (véae figura 4 inciso k) son considerados por el 66% de los entrevistados como una barrera de adopción de la I4.0 en los niveles medio (33%), bajo (10%) y muy bajo (23%); mientras que el 34% considera este factor en los niveles alto (17%) y casi alto (17%).

Los principales factores que actúan como barrera para la adopción de las tecnologías digitales de la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México en los niveles medio, casi alto y alto son:

- Falta de personal calificado en las tecnologías digitales (76%).
- Falta de comprensión de la interacción entre la tecnología y los seres humanos (70%).
- Falta de protección de datos (ciberseguridad) (70%).
- Pocos recursos humanos (mano de obra) (67%).

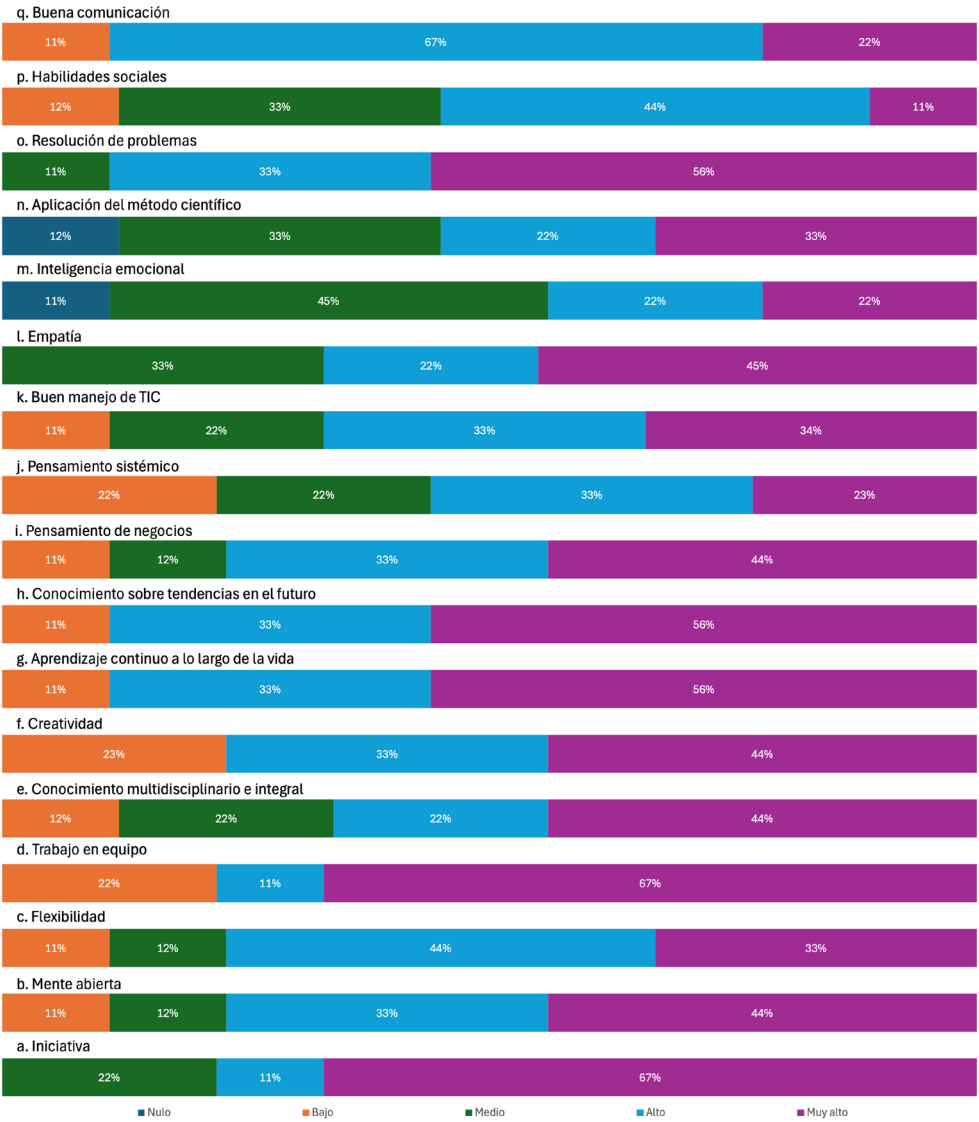
Por otra parte, los factores que actúan como barrera en los niveles bajo y muy bajo para la adopción de la Industria 4.0 son:

- Pocos recursos financieros (57%).
- Requerir de educación continua para los empleados actuales de la empresa (47%).
- Falta de comprensión de la importancia estratégica de las nuevas tecnologías digitales (43%).
- Falta de preparación de los empleados existentes (40%).

Habilidades de los empleados para la Industria 4.0

A continuación, se presentan los resultados del análisis de las respuestas de los empresarios en la escala: nulo, bajo, medio, alto y muy alto, al opinar sobre la relevancia de las habilidades de los empleados para implementar las tecnologías digitales de la Indutria 4.0 en el sector manufactura en México. En la figura 5 se exponen las habilidades consideradas en el instrumento y los niveles en los que fueron presentados según la escala correspondiente.

Figura 5. *Habilidades de los empleados para la adopción de la Industria 4.0.*



Fuente: elaboración propia.

El 78% de los empresarios entrevistados considera que la i*niciativa de los empleados* (véase figura 5 inciso a) es una habilidad en los niveles alto

(11%) y muy alto (67%); mientras que el 22% considera esta habilidad en el nivel medio.

El 77% de las personas entrevistadas considera la *mente abierta de los empleados* (véase figura 5 inciso b) como una habilidad en los niveles muy alto (44%) y alto (33%); mientras que el 23% de los empresarios la considera en los niveles medio (12%) y bajo (11%).

La flexibilidad de los empleados (véase figura 5 inciso c) es considerada por el 78% de las personas entrevistadas como una habilidad en los niveles muy alto (33%) y alto (44%); mientras que el 22% la considera en los niveles medio (11%) y bajo (11%).

El 78% de los empresarios entrevistados considera que *el trabajo en equipo* (véase figura 5 inciso d) es una habilidad relevante en los niveles muy alto (67%) y alto (11%); mientras que el 22% la considera en el nivel bajo.

El *conocimiento multidisciplinario e integral* (véase figura 5 inciso e) es considerado por el 66% de los empresarios como una habilidad relevante calificada en los niveles muy alto (44%) y alto (22%); mientras que el 33% la considera en los niveles medio (22%) y bajo (12%).

El 77% de los empresarios considera que la *creatividad* (véase figura 5 inciso f) constituye una habilidad relevante en los niveles muy alto (44%) y alto (33%); mientras que el 23% la considera en el nivel medio.

El *aprendizaje continuo a lo largo de la vida* (véase figura 5 inciso g) es una habilidad considerada por el 89% de los empresarios en los niveles muy alto (56%) y alto (33%); mientras que el 11% la considera en el nivel bajo.

El 89% de los empresarios entrevistados considera que el *conocimiento sobre tendencias en el futuro* (véase figura 5 inciso h) representa una habilidad importante en los niveles muy alto (56%) y alto (33%); mientras que el 11% la considera en el nivel bajo.

El *pensamiento de negocios* (véase figura 5 inciso i) es una habilidad que el 77% de los empresarios entrevistados considera relevante en los niveles muy alto (44%) y alto (33%); mientras que el 22% la califica en los niveles medio (11%) y bajo (11%).

El 55% de los empresarios entrevistados considera que el *pensamiento sistémico* (véase figura 5 inciso j) es una habilidad relevante en los niveles muy alto (23%) y alto (33%); mientras que el 45% la consideran en los niveles medio (22%) y bajo (22%).

El *buen manejo de TIC* (véase figura 5 inciso k) es una habilidad que el 66% de los empresarios entrevistados considera relevante en los niveles muy alto (34%) y alto (33%); mientras que el 33% la califica en los niveles medio (22%) y bajo (11%).

El 67% de los empresarios entrevistados considera que la *empatía* (véaae figura 5 inciso l) es una habilidad importante en los niveles muy alto (45%) y alto (22%); mientras que el 33% la considera en el nivel medio.

La *inteligencia emocional* (véase figura 5 inciso m) es una habilidad que el 44% de los empresarios entrevistados considera relevante en los niveles muy alto (22%) y alto (22%); mientras que el 56% la califica en los niveles medio (45%) y nulo (11%).

El 55% de los empresarios entrevistados considera que la *aplicación del método científico* (véase figura 5 inciso n) es una habilidad importante en los niveles muy alto (33%) y alto (22%); mientras que el 45% la considera en los niveles medio (33%) y nulo (12%).

La *resolución de problemas* (véase figura 5 inciso o) es una habilidad que el 89% de los empresarios entrevistados considera relevante en los niveles muy alto (56%) y alto (33%); mientras que el 11% la califica en el nivel medio.

El 55% de los empresarios entrevistados considera que las *habilidades sociales* (véase figura 5 inciso p) son importantes en los niveles muy alto (11%) y alto (44%); mientras que el 45% las considera en los niveles medio (33%) y bajo (12%).

La *buena comunicación* (véase figura 5 inciso q) es una habilidad de los empleados que el 89% de los empresarios entrevistados considera relevante en los niveles alto (67%) y muy alto (22%); mientras que el 11% la califica en el nivel bajo.

Las habilidades de los empleados, evaluadas en los niveles alto y muy alto, consideradas relevantes por los empresarios entrevistados para adoptar las tecnologías digitales de la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México son:

- Buena comunicación (89%)
- Resolución de problemas (89%)
- Conocimiento sobre tendencias del futuro (89%)

- Aprendizaje continuo a lo largo de la vida (89%)
- Iniciativa (78%)
- Trabajo en equipo (78%)
- Flexibilidad (77%)
- Mente abierta (77%)
- Creatividad (77%)
- Pensamiento de negocios (77%)

Por otra parte, las habilidades de los empleados para implementar la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura, consideradas poco relevantes por los empresarios entrevistados, nivel nulo son:

- Aplicación del método científico (12%).
- Inteligencia emocional (11%).

Conclusiones

En relación con la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México, los empresarios señalan que:

- Las tecnologías digitales que se están aplicado en mayor grado en México son *tecnologías móviles,* de *ciberseguridad,* de *cómputo en la nube* e *internet de las cosas.*
- Las principales razones para implementar la I4.0 en México son *apoyo necesario de la alta dirección para trabajar con las tecnologías digitales, motivación adecuada para trabajar con las nuevas tecnologías digitales, y voluntad de asumir riegos para experimentar con las tecnologías digitales.*
- Los principales impulsores para adoptar la I4.0 en las empresas estudiadas son *para mejorar el tiempo de comercialización, para reducir costos, estrategia consciente en torno a las nuevas tecnologías digitales* y que *los competidores usen las nuevas tecnologías digitales.*
- Los principales factores que actúan como barrera son la *falta de personal calificado en las tecnologías digitales, la falta de comprensión*

de la interacción entre la tecnología y los seres humanos, la falta de protección de datos (ciberseguridad) y *los pocos recursos humanos (mano de obra).*

- Las habilidades de los empleados más relevantes para adoptar las tecnologías digitales de la Industria 4.0 en las empresas del sector manufactura en México son *buena comunicación, resolución de problemas, conocimiento sobre tendencias del futuro, aprendizaje continuo a lo largo de la vida, iniciativa, trabajo en equipo, flexibilidad, mente abierta, creatividad* y *pensamiento de negocios.*

Esta investigación contribuye al conocimiento que se tiene sobre el avance en la adopción de Industria 4.0 en México y los retos que enfrenta, incluyendo la experiencia de las empresas que ya han abordado el proceso de adopción de la Industria 4.0.

Los resultados presentados están limitados debido al tamaño de la muestra de empresarios incluidos. Por otra parte, los cambios vertiginosos de los últimos años, relacionados con el uso y aplicación de las nuevas tecnologías digitales en el sector manufactura, han provocado que algunas de las observaciones deban ser actualizadas en muy corto tiempo.

Referencias

Baena, F., Guarin, A., Mora, J., Sauza, J. & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing, 9*, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022

Battaglia, M., Sampling, N. & Lavrakas, P. J. (2008). Encyclopedia of survey research methods. *SAGE Publications,* Inc. https://doi.org/10.4135/9781412963947.n337

Benesova, A., Hirman, M., Steiner, F. & Tupa, J. (mayo 2-6, 2018). *Analysis of Education Requirements for Electronics Manufacturing within Concept Industry 4.0* [Conference Presentation Summary]. Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology. Zlatibor, Serbia. https://doi.org/10.1109/ISSE.2018.8443681

Coşkun, S., Kayıkcı, Y. & Gençay, E. (2019). Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. *Technologies, 7*(1), 10. https://doi.org/10.3390/technologies7010010

Drumwright, M. E. y Murphy, P. E. (2009). The current state of advertising ethics: Industry and academic perspectives. *Journal of advertising, 38*(1), 83-108. https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367380106

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review, 14*(4), 532-550. https://doi.org/10.2307/258557

Haug, A., Pedersen, S. G., & Arlbjørn, J. S. (2011). IT readiness in small and medium-sized enterprises. *Industrial Management & Data Systems.*

Joshi, S., Sharma, M., Bartwal, S., Joshi, T., & Prasad, M. (2024). Critical challenges of integrating OPEX strategies with I4. 0 technologies in manufacturing SMEs: A few pieces of evidence from developing economies. *The TQM Journal, 36*(1), 108-138. https://doi.org/10.1108/TQM-08-2022-0245

Kagermann, H., Lukas, D., & Wahlster, W. (april 1, 2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. VDI nachrichten. http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/Industrie_4_0_Mit_dem_Internet_der_Dinge_auf_dem_Weg_zur_vierten_industriellen_Revolution_2.pdf.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group.* Final Report of the Industrie 4.0. National Academy of Science and Engineering.

Kumar, S. (2025). Education 4.0: Transforming learning for the fourth industrial revolution. *Higher Education for the Future, 12*(2), 144-162. https://doi.org/10.1177/23476311251326140

Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lueth, K. L., & Bolle, M. (2015). *Man, and machine in industry 4.0: How will technology transform the industrial workforce through 2025*. The Boston Consulting Group, 2. http://hdl.voced.edu.au/10707/405644.

Motyl, B., Baronio, G., Uberti, S., Speranza, D. & Filippi, S. (2017). How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. *Procedia Manufacturing, 11*(June), 1501–1509. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.282.

Narkhede, G., Dohale, V., & Mahajan, Y. (2024). Darker side of industry 4.0 and its impact on triple-bottom-line sustainability. *Sustainable development, 32*(6), 5999-6016. https://doi.org/10.1002/sd.3009

Rana, B., & Rathore, S. S. (2023). Industry 4.0–Applications, challenges and opportunities in industries and academia: a review. *Materials Today: Proceedings, 79,* 389-394. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.162

Stentoft, J., Wickstrøm, K., Philipsen, K. & Haug, A. (2020). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control,* https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768318.

Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change,* 132(October), 40-45. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.005.

World Economic Forum. (2018). *The Future of Jobs Report 2018 Insight Report Centre for the New Economy and Society*. https://doi.org/10.1177/1946756712473437.

World Economic Forum. (2023). *The Future of Jobs Report 2023*. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/