

## PROPUESTA DE AGENDA PARA LA TRANSICIÓN HACIA UN MODELO DE PRODUCCIÓN CENTRADO EN TECNOLOGÍAS DIGITALES

HÉCTOR EDGAR BUENROSTRO MERCADO\*

La incorporación de las tecnologías digitales en la producción ha dado lugar al surgimiento de nuevos modelos centrados en el uso de información para identificar oportunidades, aumentar la eficiencia y reducir los tiempos entre la idea, el diseño, la fabricación, la distribución y el consumo de un producto. Es así como la industria 4.0 se erige como uno de los grandes cambios a través de la incorporación de sistemas ciberfísicos que articulan las máquinas con el mundo digital generando, transmitiendo, almacenando y analizando datos a través de algoritmos de inteligencia artificial, en tiempo real para la toma de decisiones sin la intervención del ser humano (Casalet, 2018).

El término no se circunscribe solamente al uso de las tecnologías digitales en las empresas. Involucra un conjunto de cuestiones técnicas, económicas y sociales que modifican la productividad, la eficiencia, el mercado y la rentabilidad a través de la incorporación de sistemas ciberfísicos que se desempeñan de manera articulada en el ciclo de vida del producto y que genera cambios al interior de las organizaciones (Calatayud y Katz, 2019), incorporándose a las macrotendencias globales asociadas a la agenda 2030 y a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (Beier et al., 2020)

Para México, donde la industria se ha desarrollado con base en la oferta de productos intensivos en mano de obra escasamente calificada y de bajos salarios, resulta fundamental promover el desarrollo de políticas públicas y programas de impulso a las tecnologías digitales para transitar hacia la industria 4.0 para incorporarse a las cadenas valor basadas en plataformas tecnológicas globales (Lutra y Mangla, 2018) y transitar de un modelo de manufactura a uno de mentefactura asociado a un mayor valor agregado en los productos.

\* Centro de investigación e innovación en TIC- INFOTEC.

Debido a la naturaleza compleja de la industria 4.0, la formulación de políticas para su impulso demanda de agendas transversales que consideren estructuras de apoyo para la formación de capacidades en los trabajadores y las empresas, así como de las normas y estándares para la integración de plataformas tecnológicas y el impulso a la innovación desde una perspectiva sostenible con metas a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con las condiciones del entorno nacional y las nuevas tendencias socioeconómicas globales.

Desde esta perspectiva transversal y de complejidad, el objetivo del presente documento es establecer con un enfoque multidisciplinario los elementos básicos para la formulación de una agenda de impulso a la industria 4.0, considerando los aspectos tecnológicos, económicos, sociales y de sostenibilidad a través del dialogo entre la industria, el gobierno, la academia y la sociedad.

#### EVOLUCIÓN DE LAS TIC EN LA PRODUCCIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0

El origen del término industria 4.0 se remonta al 2011 en Alemania como parte de una estrategia nacional para la incorporación de las soluciones tecnológicas digitales para impulsar la productividad y competitividad de las empresas alemanas (Kagermman et al., 2016). En su origen, el concepto aludía al conjunto de actividades que hacían uso de tecnologías digitales y controlaban la producción por medio de la interrelación entre los procesos, las máquinas y las personas (Pfeiffer, 2017) pero el concepto ha ido evolucionando incorporando elementos políticos y socioeconómicos asociados a los cambios provocados por la digitalización en una transformación global que comprende al conjunto de la sociedad.

Esta perspectiva involucra cambios en la economía, las políticas públicas, las normativas, la infraestructura, los mercados, el empleo, el medio ambiente, el comercio internacional, la logística, la eficiencia, la competencia y la seguridad de la información (Martínez-Olvera y Mora-Vargas, 2019) basadas en un conjunto de tecnologías digitales que se desempeñan de manera conjunta.

#### *La industria 4.0 como parte de las tendencias globales emergentes*

Las tecnologías asociadas a la industria 4.0 son de uso general (Mihet y Philippon, 2019), cuyas capacidades para incorporarse a los distintos aspectos socioeconómicos generan cambios globales de manera directa e indirecta, establecen nuevos retos para las empresas, las regiones y los países,

para generar estrategias que impulsen en su establecimiento y promuevan el desarrollo como parte de un conjunto de macro tendencias que inciden en mayor o menor medida en los escenarios futuros y nuevas condiciones tecno-económicas (López-Gómez et al., 2017)

Por un lado, se encuentran aquellas tendencias sociales entre ellas el envejecimiento de la población global impulsando el aumento de la inmigración intra e internacional que, a su vez, favorece el surgimiento de movimiento nacionalistas, así como de conflictos sociales que generan tensiones al interior de las sociedades nacionales. En este mismo sentido, de la urbanización impulsando el desarrollo de megaciudades que requieren de nuevas soluciones de movilidad, vivienda, infraestructura, acceso a los servicios públicos y actividades de ocio; todo en un entorno de sostenibilidad.

Con relación a la economía, la generación de cadenas globales de producción impulsadas por el *offshoring* y *outsourcing*, lideradas por las grandes corporaciones globales que establecen los procesos centrales y las características de los productos, controlando íntegramente los métodos de fabricación y distribución está modificando los flujos de comercio y producción internacionales.

En este mismo aspecto se considera la aceleración de los ciclos de vida de la producción derivado del aumento de las tasas de innovación, así como el mayor uso de las TIC y el surgimiento de nuevos procesos de fabricación y distribución basados en el uso de la información. Esto también ha provocado por las modificaciones de los hábitos de consumo hacia una mayor individualización de los productos y servicios (producción masiva personalizada) cada vez más complejos y conectados a internet, impulsando la adopción acelerada de la tecnología.

El conjunto de estas tendencias genera nuevos retos y oportunidades, transformando los modelos tradicionales intensivos en mano de obra, hacia nuevas estructuras flexibles y coordinadas globalmente centradas en la generación, distribución y análisis de la información para la gestión de las interacciones entre los sistemas productivos a través de plataformas digitales (Castillo, 2017).

Es así como las nuevas perspectivas de los gobiernos y tomadores de decisiones en relación con los programas de apoyo a la industria 4.0 en particular y a la digitalización de la producción en general han ampliado sus horizontes, estableciendo una serie de cambios profundos que involucren a la sociedad mundial (Demartini et al., 2019). Estos desafíos internacionales solo pueden ser abordados con estrategias nacionales que consideren la complejidad del entorno global.

### *Las aportaciones de la industria 4.0 a la sostenibilidad*

Desde los primeros años de la incorporación de las tecnologías digitales a la producción se empezaron a abordar sus posibles aportaciones a la solución de problemas que se encuentran más allá del ámbito económico, los cuales incluyen aspectos sociales y medioambientales (Bonilla et al., 2018). Es así como en 2015 se presentan los primeros acercamientos para establecer la vinculación entre la industria 4.0 y la atención de los problemas globales, principalmente aquellos asociados a la sostenibilidad, que agrupa los principales desafíos a los cuales se enfrenta la humanidad en el corto, mediano y largo plazo (ONU, 2017).

Entonces, a las condiciones y retos propios de la industria 4.0 se agregan elementos sociales y medioambientales que demandan una reestructuración de los modelos productivos actuales hacia aquellos que respondan a las exigencias por mejorar las condiciones de la población y garantizar su mantenimiento en el largo plazo (Cardoso et al., 2022). A través de una producción más eficiente, minimizando el uso de energía, favoreciendo aquella proveniente de fuentes renovables, impulsando una economía circular que disminuya el uso de materias primas, favoreciendo el reciclaje y reúso desde el diseño de producto (Dantas et al., 2021).

La incorporación del enfoque de la sostenibilidad dentro de los objetivos de la industria 4.0 establece una nueva capa de complejidad para las empresas, ya que requieren de mayores recursos y capacidades para hacer frente a los desafíos asociados. Esto es particularmente importante para las pymes, ya que los elementos con que cuentan son limitados (García, 2019). Por lo que la necesidad de generar programas y políticas de apoyo para su atención se vuelve imperiosa.

#### AGENDAS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL ENTORNO INTERNACIONAL

La irrupción de los modelos de producción basados en las tecnologías digitales ha generado una creciente competencia entre los países desarrollados por liderar los cambios y, de esa manera, establecer los estándares tecnológicos para los futuros desarrollos y obtener así una ventaja competitiva, a la vez que se avanza en su implementación entre las empresas nacionales.

Debido a la amplitud de las secuelas de la digitalización, que afecta directamente los mercados, las estructuras sociales y el empleo (Teixeira, 2022) e indirectamente al conjunto de los elementos socioeconómicos

debido a las características de este tipo de tecnologías de amplio espectro (Mihet y Philippon, 2019) es que, las políticas y programas públicos tienden a presentar múltiples objetivos con el fin de cubrir la mayor cantidad de aspectos relacionados.

En la actualidad, se identifican un conjunto de países cuyo sector productivo se basa en la digitalización, que se encuentran al frente de la transición hacia los modelos productivos digitalizados y han diseñado e implementado políticas y programas para impulsar los diferentes aspectos asociados a la industria 4.0. Este tipo de apoyos se ha ido modificando con el tiempo, ya que en un primer momento los objetivos planteados eran demasiado generales y actualmente estos se han ido refinando para atender de manera puntual aquellos factores que, de acuerdo con la perspectiva de cada nación, presentan una mayor incidencia en la tecnología necesaria para la producción, las cuales se muestran en la tabla 1.

Dentro de las condiciones presentes para implementar la industria 4.0 se observa la falta de personal con los conocimientos necesarios para hacer frente a las necesidades derivadas de las tecnologías digitales; por lo cual, se requiere de acciones para facilitar la transformación de los trabajadores de un modelo de una producción centrado en la manufactura hacia la mentefactura, a través de programas de capacitación para cubrir las demandas de empleo que surgirán y minimizarán los problemas de aquellos que desaparezcan con la automatización.

Para hacerle frente, las acciones que se establecen se dirigen no solamente a la creación de capacidades digitales en la población, también incluyen estrategias para que los cambios en el empleo se reflejen en mejores condiciones de vida de la población, por los mayores salarios relacionados con trabajos más complejos que requieren de mayores conocimientos y mejoras en las características del empleo, tales como el teletrabajo.

Otra condición común es la falta de estándares para el desarrollo de tecnología, así como el uso de estándares propietarios, lo que encarece la innovación, aumenta la incertidumbre con relación a las inversiones en tecnología y limita las posibilidades de interconexión entre diferentes plataformas. De manera relacionada se encuentra la ausencia de normativas específicas para el uso, acceso, manejo y protección de la información que se genera por la incorporación de las TIC en la producción.

En este caso, los países revisados cuentan con alguna estrategia para desarrollar estándares abiertos nacionales e internacionales, así como el impulso de plataformas industriales de interconexión entre los distintos actores para impulsar el desarrollo de tecnologías con capacidades de intercambio de información y generar certidumbre a las inversiones en TIC;

CUADRO 1  
POLÍTICAS Y ACCIONES DE APOYO A LA INDUSTRIA 4.0 EN PAÍSES SELECCIONADOS

<i>Países</i>	<i>Condiciones nacionales de la industria 4.0</i>	<i>Políticas e iniciativas para el desarrollo de la industria 4.0</i>	<i>Acciones para impulsar la industria 4.0</i>
Alemania	<p>Insuficiente regulación con relación al manejo de datos. Fortalecer la fabricación y la ingeniería mecánica durante la digitalización. Escases de personal con competencias digitales y especialistas en TIC. Desarrollo de la economía en su conjunto para mejorar la competitividad internacional. Desarrollo e implementación de la IA en los procesos de producción.</p>	Mittelstand Digital	<p>Impulso a la generación de estándares, normas y arquitecturas internacionales. Desarrollo e implementación de mejores prácticas. Desarrollo de redes de producción basadas en la digitalización. Construcción de plataformas industriales digitales. Impulsar la formulación de estrategias comerciales, investigaciones de mercado y desarrollo de nuevos modelos de negocios.</p>
China	<p>Entramado productivo basado en la manufactura con brechas en capacidad de innovación. Baja eficiencia en el uso de recursos para la producción. Estructura productiva heterogénea con grandes variaciones de calidad, eficiencia y procesos. Desarrollo de capital humano altamente calificado con competencias para impulsar la digitalización.</p>	<p>Plan estratégico Made in China 2025 Estrategia China 2035</p>	<p>Impulsar el desarrollo de industrias pioneras en tecnologías digitales. Desarrollo de sociedades de aprendizaje, apoyo a la educación tecnológica. Apoyos y subvenciones a empresas innovadoras. Gestión de patentes y propiedad intelectual. Impulsar la regulación ambiental, mejorando la justicia social.</p>
Japón	<p>Infraestructura y conectividad muy desarrolladas. Estándares tecnológicos y de conectividad propios. Las empresas utilizan sistemas propietarios que no se intercomunican.</p>	<p>GENIAC. Generative AI Accelerator Challenge. Estrategia de industrias conectadas, IoT, big data e IA. Consortio acelerador de IA. Iniciativa de protección de información personal. Robot Revolution Initiative Iniciativa.</p>	<p>Desarrollar soluciones de TI para generar cadenas y redes de valor. Implementación de estándares para facilitar el intercambio de información. Impulsar el desarrollo de plataformas y modelos de IA generativa. Creación de proyectos de IoT avanzado. Mejorar el entorno de negocios digitales.</p>

**CUADRO 1 (continuación)**  
**POLÍTICAS Y ACCIONES DE APOYO A LA INDUSTRIA 4.0 EN PAÍSES SELECCIONADOS**

<i>Países</i>	<i>Condiciones nacionales de la industria 4.0</i>	<i>Políticas e iniciativas para el desarrollo de la industria 4.0</i>	<i>Acciones para impulsar la industria 4.0</i>
Corea del Sur	Limitada innovación en nuevos campos y falta de capital de riesgo para empresas tecnológicas. Falta de estándares de conexión, uso de datos y ciberseguridad. Rigidez del mercado laboral. Impulso al establecimiento de fábricas inteligentes y nuevos modelos de negocios basados en datos. Cuenta con bases sólidas para impulsar el desarrollo de la industria 4.0.	Iniciativa Smart City. Centros de innovación y Economía creativa. Korean Smart Factory Foundation. Smart Factory Initiative.	Impulsar la creación de industrias a través de la innovación tecnológica. Mejorar la calidad de vida de las personas por medio de la tecnología. Crear puestos de trabajo de alta calidad y reforzar la red de seguridad social. Tecnologías inteligentes, datos y redes seguras basadas en estándares internacionales.
Estados Unidos	Procesos de desindustrialización y disminución del liderazgo industrial a nivel internacional. El sector militar presenta gran relevancia en el ecosistema de innovación. La industria 4.0 se impulsa por consorcios de grandes empresas privadas.	National Strategy for Advance Manufacturing 2022. Industrial Internet Consortium (CII). Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC).	Desarrollo de banco de pruebas. Formación de redes de fabricación. Incorporar los principios de la sustentabilidad en la manufactura. Fortalecer las cadenas de valor a través del desarrollo de la resiliencia de las empresas. Mejorar el capital humano con competencias digitales.
Reino Unido	Falta de experiencias, casos de uso y análisis de la academia para impulsar la digitalización de la producción. Falta de financiamiento para la incorporación de tecnologías digitales. Escases de personal con competencias digitales y especialistas en TIC.	Catapult centres, centros de fabricación de alto valor (HVMC). Digital Catapult, digitalización de la manufactura. Programa de bancos de pruebas y ensayos. Manufacturing Technology Centre (MTC).	Subsidios y préstamos para la inversión en tecnologías digitales. Bancos de pruebas con estándares y reglas. Desarrollo de redes productivas. Consultoría para creación de valor de la producción digitalizada. Investigación industrial aplicada. Aumentar el uso de las tecnologías digitales.

FUENTE: Elaboración propia con base en Feigenbaum y Nelson (2024); Kagermann et al. (2016); METI (2024) y Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution Committee (2017).

a lo cual abona la implementación de bancos de pruebas para certificar dichas tecnologías. También se muestra, aunque no en todos los casos, el avance en la normativa y legislación para uso y manejo de los datos generados por la industria 4.0 y en su protección a través de marcas, patentes o derechos de explotación.

Una circunstancia común es la ausencia de metodologías, experiencias y casos de uso que permitan a las empresas contar con información para diseñar sus propios procesos para la transición hacia un modelo productivo que hace uso intensivo de las TIC, así como de métricas, técnicas, etapas y lineamientos para disminuir los riesgos asociados a la incorporación de nueva tecnología, debido a la novedad de estos fenómenos. Esto es particularmente relevante para las pymes que cuentan con capacidades y recursos limitados para hacer frente a estos cambios.

Para fomentar la transición de las empresas a estos nuevos modelos productivos, los países han implementado préstamos y subsidios para impulsar la compra de tecnología, ofrecen consultorías especializadas para la generación de valor basado en las TIC y fortalecer la incorporación de las pymes a las cadenas de valor para disminuir la incertidumbre y favorecer la mejora de capacidades internas.

Finalmente, un elemento que se encuentra presente en las diferentes políticas y programas es que estas deben diseñarse e implementarse con una perspectiva de sostenibilidad que considere formas en las cuales la industria 4.0 puede abonar a la mejora de las condiciones de la población en general y a la conservación del medio ambiente mientras crecen las economías nacionales. Esto requiere de una visión multidisciplinaria que establezca objetivos de corto, mediano y largo plazo para el diseño de las acciones de cada país en consonancia con los esfuerzos internacionales en este sentido.

#### LA FORMULACIÓN DE UNA AGENDA PARA LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

El punto de partida para la formulación de una agenda nacional para impulsar la industria 4.0 con una perspectiva de sostenibilidad es la comprensión de las condiciones en que se encuentra la economía nacional, en particular aquellas relacionadas con las TIC, sin dejar de lado el conjunto de los sectores productivos debido a la transversalidad de las tecnologías digitales, así como de la perspectiva sistémica que requiere la incorporación de elementos sociales y medioambientales para la formulación de las políticas de amplio espectro.

### Condiciones de la industria manufacturera en México

En el caso de la economía mexicana, al analizar los datos del PIB en el último trimestre del 2023 (figura 1), se establece que las actividades industriales, así como los servicios representan alrededor del 90% de la producción de valor. De manera particular, las manufacturas contribuyen con el 21.65%, lo que lo convierte en el principal componente individual. Asimismo, se requiere considerar su aporte en los encadenamientos productivos hacia delante (bienes intermedios) y hacia atrás (proveedores) que se establecen con otros sectores, tales como los servicios especializados, el transporte y la construcción.

FIGURA 1  
COMPOSICIÓN DEL PIB NACIONAL, CUARTO TRIMESTRE 2023 EN PORCENTAJES

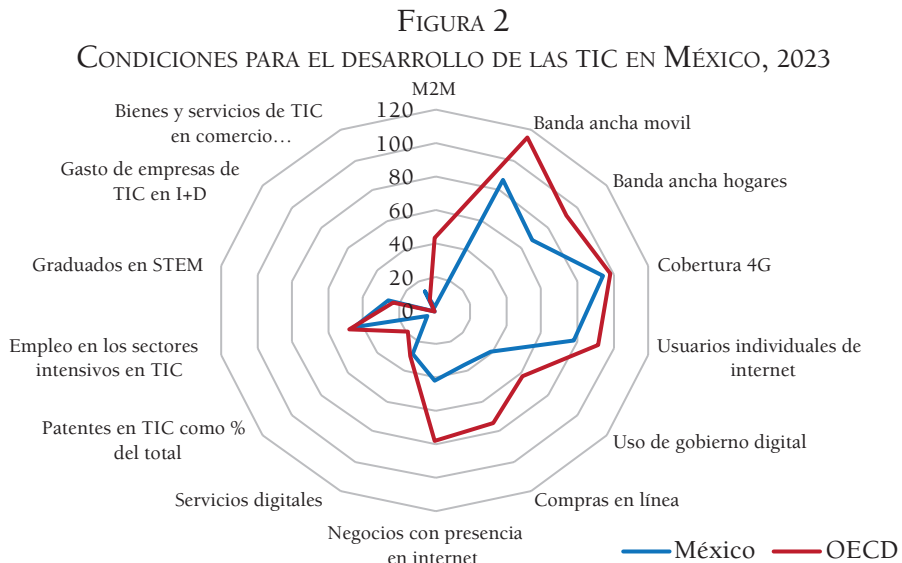
<b>Industrias manufactureras, 21.65</b>	<b>Comercio al por menor, 10.38</b>	<b>Transportes, correos y almacenamiento, 7.60</b>		<b>Construcción, 6.75</b>		
		<b>Agricultura, forestal, pesca y caz...,</b>	<b>Servicios educativos, 3.85</b>	<b>Activida... legislativ... gubern...</b>		
	<b>Comercio al por mayor, 10.60</b>	<b>Servicios inmobiliarios, 9.83</b>	<b>Minería, 4.10</b>	<b>Aloja... temp... y de...</b>	<b>Servi... de salu...</b>	<b>Info... en me...</b>
			<b>Servicios financieros y de seguros, ...</b>	<b>Servi... profe... 2.43</b>	<b>Otros ser... exc...</b>	<b>S... d... C... O... Espar...</b>

FUENTE: Elaboración propia con base en INEGI (2024).

El concepto de la industria 4.0 no se refiere solamente a la manufactura: requiere de la participación de los diferentes actores dentro de los nuevos modelos de negocio, por lo que resulta fundamental considerar los sectores económicos más relevantes, que además de la manufactura son los servicios de comercio al mayoreo y menudeo, el transporte (logística), los servicios inmobiliarios y la construcción, por lo cual es relevante considerar las articulaciones productivas para la formulación de las políticas públicas.

## Condiciones nacionales para impulsar el desarrollo de una agenda digital en México

Con relación a las condiciones del país en materia de digitalización, en la figura 2 se establecen las condiciones de las TIC considerando elementos sociales, económicos, de accesibilidad e innovación asociadas a las tecnologías digitales en México y su relación con los indicadores de los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que agrupa a las naciones más desarrolladas del mundo. A partir de la información que se presenta, se desprende que, los elementos asociados a la infraestructura (cobertura de banda ancha, acceso a las TIC y 4G), son aquellos que cuentan con mayor nivel de avance, pero aun por debajo del promedio de la OECD en todos los casos.



FUENTE: Elaboración propia con base en OECD (2024).

En el rango medio se encuentran los indicadores relacionados con la economía digital, asociada a la venta por medios electrónicos, los servicios y la presencia de las empresas en internet; así como el gobierno electrónico como parte del desarrollo de una sociedad del conocimiento. Finalmente, aquellos elementos que requieren de atención especial se refieren a la innovación (gasto en I+D, patentes, graduados STEM), lo que muestra las áreas que requieren de atención prioritaria para impulsar la digitalización del país para adaptarse a las condiciones globales emergentes.

## ACTIVIDADES PRIORITARIAS PARA IMPULSAR LA DIGITALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO

En el caso de México, el país no cuenta con alguna política o programa específico para avanzar en la digitalización de las empresas. Esto ha provocado que el país se encuentre rezagado en materia de la incorporación de las tecnologías digitales en la producción, lo que aunado a las tendencias globales mencionadas anteriormente relacionadas con el *offshoring*, el establecimiento de las cadenas globales de valor, los nuevos mercados y productos basados en las TIC y la implementación de la industria 4.0 a nivel internacional vuelve imperativo el establecimiento de planes, programas y políticas para impulsar y orientar estos temas en la agenda nacional como tema prioritario para mejorar la competitividad nacional.

Es por ello por lo que a continuación se presentan los elementos fundamentales que se requiere considerar para establecer políticas para impulsar la digitalización de la producción y la implementación de la industria 4.0 desde una perspectiva amplia, considerando las condiciones propias de México presentadas anteriormente, así como las áreas de oportunidad identificadas por los países que lideran la transformación del modelo productivo basado en la información y el conocimiento.

Para la definición de las acciones estas se dividen en específicas y transversales. Las primeras se refieren a aquellas directamente relacionadas para impulsar el establecimiento de la industria 4.0 y establecer nuevos modelos productivos basados en la digitalización. Las segundas son de objetivos generales, ya que no solo se aplican en la producción.

Dentro de las primeras, se establece que cualquier política o agenda de apoyo a la industria 4.0 requiere de la atención prioritaria a la educación en ciencia (matemáticas, computación tecnología, ciencia), así como a programas de transición de los trabajadores con capacidades de aprendizaje y articulación para adquirir, generar o combinar el conocimiento para que puedan incorporarse a los nuevos empleos que están surgiendo en los nuevos modelos de producción.

Otro elemento central se refiere a las normas técnicas para el desarrollo y adopción de la tecnología, lo cual reducirá la incertidumbre de las empresas y facilitará las inversiones en equipo. Así como la definición de estándares abiertos priorizando las capacidades de escalamiento e intercomunicación para evitar la obsolescencia y el *locking* tecnológico. Esto se extiende a la parte legal, ya que es fundamental regular la propiedad y los usos de la información que se genera dentro de los diferentes procesos digitalizados. Incluye la protección de la propiedad intelectual y las patentes,

lo que requiere de la cooperación internacional para la generación de acuerdos globales en estos temas para dar certidumbre a los innovadores.

Una tercera acción específica se refiere al apoyo a las pymes para aumentar sus capacidades y competencias y facilitar su incorporación en las cadenas globales de producción, a través de la articulación con grandes firmas establecidas en el territorio nacional (empresas tractoras), con el apoyo al *offshoring*. Estos esfuerzos no solo se deben circunscribir a los apoyos fiscales o programas de financiamiento; se requiere además de la generación de herramientas que faciliten la integración, tales como las plataformas tecnológicas basadas en IA, para la integración horizontal y vertical intra e interempresarial, que se acompañen con consultoría y metodologías para la implementación de procesos centrados en las TIC.

Con relación a aquellas acciones de objetivo general, la primera de ella es la ciberseguridad y la gestión de riesgos cibernéticos, impulsando el diseño de estrategias y la implementación de mejores prácticas en la materia. Por lo cual, se requiere de una estrategia global con el involucramiento de diferentes actores para su implementación.

Por último, todo esto requiere de una planeación desde una perspectiva de sostenibilidad donde la transición hacia nuevos modelos productivos y de creación de valor provoquen un crecimiento de la economía que se refleje en una mejora en las condiciones de vida de la población a la vez que hace un uso responsable de los recursos naturales y la energía, que permita lograr la sustentabilidad de medio ambiente en el mediano y largo plazo.

## CONCLUSIONES

La industria 4.0 es una oportunidad y un riesgo para que México se logre incorporar a la nueva revolución productiva la cual modificará las formas en cómo se desenvuelve la sociedad a nivel mundial. Por un lado, el país tiene la oportunidad de formar parte de las cadenas productivas globales y pasar de ser un productor de materias primas y productos basados en el uso intensivo de mano de obra, hacia aquellas actividades basadas en el conocimiento que generan mayor valor en los procesos de las empresas.

También representa un riesgo en caso de inacción que se verá reflejada en una menor competitividad en relación con otros países emergentes, lo cual generará rezagos en el sector productivo, con la consiguiente pérdida de crecimiento económico y nivel de vida. Por lo que se requiere de acciones en el corto plazo que aprovechen las oportunidades de modelos productivos emergentes que están en proceso de consolidación a nivel global. Por ello, es fundamental que los *policymakers* establezcan las políticas y

programas de corto, mediano y largo plazo, que impulsen la transición del país para responder a las necesidades emergentes que surgen de la globalización de la digitalización en todos los aspectos de la sociedad, entre ellos la producción para que México se incorpore en estas tendencias y ello se refleje en mejores condiciones para la población en general.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beier, Grischa; Ullrich, André; Niehoff, Silke; Reißig, Malte y Habich, Matthias (2020), “Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes - A literature review”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 259, pp. 1-13, en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620309033?via%3Dihub>
- Bonilla, Silvia; Silva, Helton; Terra da Silva, Marcia; Gonçalves, Rodrigo Franco y Sacomano, José (2018), “Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges”, *Sustainability*, 10, 3740, pp. 1-24. MDPI, en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3740>
- Calatayud Agustina y Katz, Raúl (2019), *Cadena de suministros 4.0. Mejores Prácticas Internacionales y Hoja de Ruta para América Latina*, BID, en: [https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Cadena\\_de\\_suministro\\_4.0\\_Mejores\\_pr%C3%A1cticas\\_internacionales\\_y\\_hoja\\_de\\_ruta\\_para\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Cadena_de_suministro_4.0_Mejores_pr%C3%A1cticas_internacionales_y_hoja_de_ruta_para_Am%C3%A9rica_Latina_es.pdf)
- Cardoso, Walter; Villas, Cecilia; Pinto, Marcos; Contador, José Celso; Giannetti, Biagio; Ferreira, Anderson y Fragomeni, Marco (2022), “Industry 4.0 implementation: The relevance of sustainability and the potential social impact in a developing country”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 337, pp. 1-9, Science Direct. en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622001019>
- Casalet, Mónica (2018), *La digitalización industria. Un camino hacia la gobernanza colaborativa*, CEPAL, en: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/44266>
- Castillo, Mario (2017), *El estado de la manufactura avanzada. Competencia entre las plataformas de la Internet industrial*, CEPAL, en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43124-estado-la-manufactura-avanzada-competencia-plataformas-la-internet-industrial>
- Dantas, Thales; De Souza, Eduardo; Destro, Iuri; Hammes, Gabriela; Rodriguez, Carlos y Soares, Sebastião (2021), “How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals”, *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 26, pp. 213-227, Science Direct, en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550920307983>

- Demartini, Melissa; Evans, Steve y Tonelli, Flavio (2019), “Digitalization Technologies for Industrial Sustainability”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 33, pp. 264-271, Science Direct, en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919305098>
- Feigenbaum, Evan y Nelson, Michael (2024), *Koreas Path to Digital Leadership. How Seoul Can lead on Standards and Standardization*, Carnegie, en: <https://carnegieendowment.org/2024/02/28/korea-s-path-to-digital-leadership-how-seoul-can-lead-on-standards-and-standardization-pub-91829>
- García, Alejandro (2019), “Los retos de las Pymes en el contexto de la Industria 4.0: una revisión teórica”, en Martínez, Adriana; Álvarez, María de Lourdes y García, Alejandro (coords.), *Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas*, UNAM-Plaza y Valdés Editores, pp. 55-76.
- INEGI (2024), *Sistema de Cuentas Nacionales de México*, en: <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/default.html#Tabulados> (consultado: 11 marzo 2024).
- Kagermann, Henning; Anderl, Reiner; Gausemeier, Jürgen; Schuh, Günther; Wahlster, Wolfgang (2016), *Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners*, Acatech, en: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech\\_eng\\_STUDIE\\_Industrie40\\_global\\_Web.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2016/11/acatech_eng_STUDIE_Industrie40_global_Web.pdf)
- López-Gómez, Carlos; Leal-Ayala, David; Palladino, Michele y O’Sullivan, Eoin (2017), *Emerging Trends in Global Advanced Manufacturing: Challenges, Opportunities and Policy Responses*, Cambridge, UN, en: [https://manufacturing-report/Resources/Whitepapers/db65eab7-7b95-4c9e-9718-8d50424cb3a6\\_Emerging-trends-global-advanced-manufacturing.pdf](https://manufacturing-report/Resources/Whitepapers/db65eab7-7b95-4c9e-9718-8d50424cb3a6_Emerging-trends-global-advanced-manufacturing.pdf)
- Luthra, Sunil y Mangla, Sachin (2018), “Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies”, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 117, pp. 168-179, Science Direct, en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018301320>
- Martínez-Olvera, César y Mora-Vargas, Jaime (2019), “A comprehensive Framework for the Analysis of Industry 4.0 Valued Domains”, *Sustainability*, Vol. 11 (2960), pp. 1-21, MDPI, en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2960>
- Mihet, Roxana y Philippon, Thomas (2019), “The economics of Big Data and Artificial intelligence”, en Chai, J. y Ozkan, B. (Eds.) *Disruptive innovation in business and finance in the digital world*, Emerald [Online], pp. 29-43, en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/S1569-376720190000020006/full/html>
- Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) (2024), *Policy Index*, [Online], en: <https://www.meti.go.jp/english/policy/index.html>
- ONU (2017), *Business Reporting on the SDGs: An Analysis of the Goals and Targets*, UN, en: <https://www.unglobalcompact.org/library/5361>
- OECD (2024), *Going Digital toolkit*, en: <https://goingdigital.oecd.org/dimensions>
- Pfeiffer, Sabine (2017), “The vision of “Industrie 4.0” in the Making-a Case of Future Told, Tamed, and Traded”, *Nanoethics*, Vol. 11, pp. 107-121, Springer Link [En

línea], en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11569-016-0280-3>  
Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution Committee (2017), *Plan for the Fourth Industrial Revolution to Promote Innovative Growth*. Seoul: The government of the Republic of Korea.

Teixeira, Josélia Elvira y Tavares-Lehmann, Ana Teresa (2022), “Industry 4.0 in the European union: Policies and national strategies”, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 180, 121664, pp. 1-12, Science Direct, en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162522001962>