

CUARTA SECCIÓN
LA INDUSTRIA 4.0
Y LAS TAREAS DE LA POLÍTICA INDUSTRIAL

LA INDUSTRIA 4.0 EN MÉXICO Y LOS CAMBIOS EN LA POLÍTICA INDUSTRIAL

JOSÉ LUIS SOLLEIRO*
ROSARIO CASTAÑÓN*

INTRODUCCIÓN

La industria 4.0 –también conocida como la cuarta revolución industrial– implica un nuevo paradigma transformador en el mundo manufacturero y económico: se caracteriza por la convergencia de tecnologías disruptivas, las cuales impulsan la automatización, la interconectividad y la toma de decisiones basada en datos. Además, la industria 4.0 está revolucionando la producción y distribución de bienes y servicios, construyendo sobre los avances de la tercera revolución industrial gracias a la interconexión entre productos, máquinas, procesos y consumidores, usando intensivamente tecnologías como el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la computación en la nube, sensores, robots autónomos y otros servicios digitales usados para procesar grandes cantidades de datos (Zhang and Chen, 2020).

Para que la industria 4.0 sea efectivamente una realidad se requieren apoyos gubernamentales que la impulsen. En el caso de México la intervención del Estado en el desarrollo industrial ha cambiado durante los últimos cinco años, reduciendo la cantidad y calidad de sus instrumentos de política, por lo que es importante hacer una revisión de lo que ha ocurrido durante la presente administración y elaborar una serie de propuestas enfocadas a recuperar el dinamismo y la competitividad del desarrollo industrial. Este artículo tiene como objetivo ofrecer propuestas de política para mejorar la inserción de México en la cuarta revolución industrial.

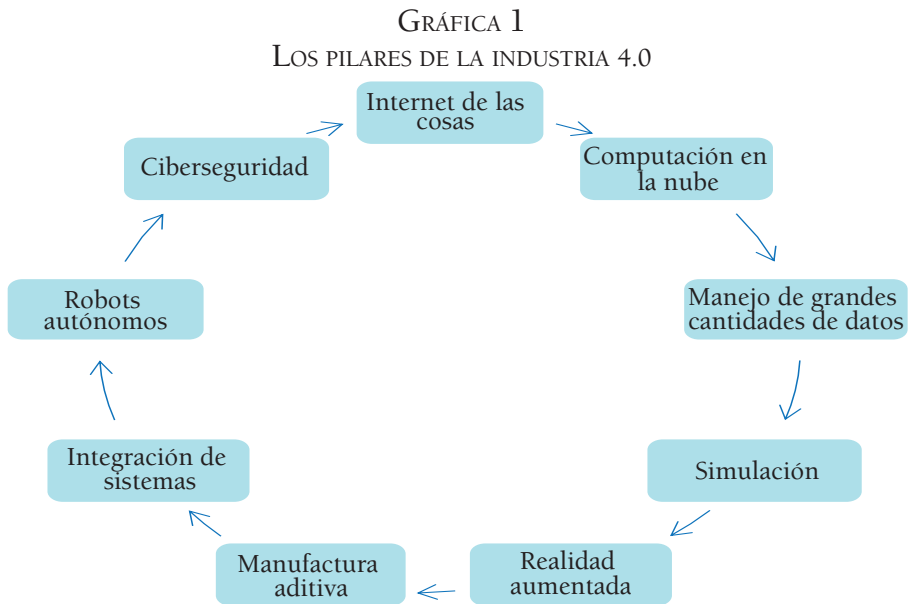
* Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM.

LAS BASES TECNOLÓGICAS DE LA INDUSTRIA 4.0

Se ha reconocido ampliamente que las perspectivas de la industria 4.0 son prometedoras, pues representan un cambio radical que impacta en los siguientes rubros:

- *Mayor eficiencia operativa.* La adopción de las tecnologías habilitadoras ya ha comenzado a mejorar la eficiencia en todos los aspectos de la cadena de valor, desde la producción y logística hasta la gestión de la cadena de suministro, el manejo de pagos y documentación de procedimientos comerciales, y el mantenimiento de activos.
- *Personalización en masa.* La capacidad de recopilar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real permite a las empresas adaptar la producción y los servicios de manera más precisa a las necesidades individuales de los clientes. Esto abre nuevas oportunidades para la personalización en masa y la fabricación bajo demanda, lo que aumenta la satisfacción del cliente y la competitividad empresarial.
- *Nuevos modelos de negocio.* La digitalización y la conectividad en la industria 4.0 facilitan la creación de nuevos modelos de negocio basados en servicios, la monetización de datos y la colaboración entre empresas a lo largo de toda la cadena de valor, diversificando sus fuentes de ingresos. Evidencia de esto es la creciente presencia de empresas que operan a través de plataformas digitales, lo cual ha despertado interés y también preguntas sobre su regulación.
- *Formación de ecosistemas colaborativos.* La conectividad que surge por las mejoras en las telecomunicaciones, junto con algoritmos y protocolos de intercambio de datos, favorece la cooperación interinstitucional con una dimensión global.
- *Innovación continua.* La rápida evolución de las tecnologías de la industria 4.0, ofrece oportunidades y estímulos para la innovación continua, y la mejora de productos, servicios y procesos. Las empresas capaces de adaptarse a la innovación pueden crear ventajas competitivas en múltiples mercados.
- *Transformación de la fuerza laboral.* La industria 4.0 es detonadora de una transformación profunda de la fuerza laboral. La automatización y la digitalización están cambiando la naturaleza del trabajo en muchas industrias, lo que requiere una inversión en capacitación y desarrollo de habilidades para garantizar que los trabajadores estén preparados para los empleos del futuro.

El avance de la industria 4.0 se fundamenta en nueve pilares tecnológicos, como se muestra en la gráfica 1 (Alcácer y Cruz-Machado, 2019):



FUENTE: Elaboración propia.

Internet de las cosas. La IoT describe la red de objetos físicos (“cosas”) que llevan incorporados sensores, *software* y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas.¹

Computación en la nube. El uso de servicios de almacenamiento y procesamiento de información en la llamada “nube” representa un salto en la capacidad para que los sistemas interactúen, se compartan datos y se mejore el desempeño de equipos de cómputo, con inversiones menores. Actualmente, la nube no sirve sólo para almacenar datos de sus usuarios, sino que también se cuenta con la plataforma como servicio (PaaS) que proporciona a los desarrolladores una plataforma para crear, implementar y administrar aplicaciones sin tener que preocuparse por la infraestructura subyacente. El *software* como servicio (SaaS) proporciona a los usuarios acceso a *software* a través de internet, eliminando la necesidad de instalar y mantener el *software* en sus propios dispositivos.

Manejo de grandes volúmenes de datos (big data). Nuevas técnicas que facilitan el procesamiento y análisis de datos que se generan en el marco de

actividades diversas y de la interacción entre objetos. La nueva economía del dato genera nuevos negocios basados en la valorización comercial de las capacidades de análisis.

Simulación. Desarrollo de modelos para entender la dinámica de negocios, procesos gubernamentales y la prestación de servicios, usando datos reales, pero simulando mediante lo que ahora se llama “gemelos digitales”.

Realidad aumentada. Se trata de sistemas que posibilitan la interacción entre ambientes virtuales y el mundo físico, para que ambos se entremezclen a través de dispositivos tecnológicos, con el fin de mejorar el desempeño humano en tareas específicas.

Manufactura aditiva. Una tecnología que permite la elaboración rápida de prototipos de productos mediante la impresión tridimensional, usando diferentes materiales, lo cual acelera la elaboración de modelos y el diseño de productos.

Integración horizontal y vertical de sistemas. La integración horizontal consiste en establecer condiciones para la interconexión y coordinación a lo largo de una cadena de suministro, es decir entre proveedores, fábricas y clientes. La integración vertical trata de la combinación de sistemas de tecnologías de la información a lo largo de los diferentes niveles y unidades que integran una empresa. Mediante la conectividad propia de las nuevas redes de telecomunicación y los protocolos de interacción entre dispositivos, la integración se facilita.

Robots autónomos. Son autómatas con inteligencia artificial que tienen gran capacidad de adaptación y flexibilidad para desempeñarse en diferentes procesos de producción, lo cual lleva a la sustitución del trabajo en actividades rutinarias, con reducciones de costos y riesgos para el personal. La adición de algoritmos de aprendizaje automático permite que estos autómatas estén habilitados para tomar decisiones.

Ciberseguridad. Se trata de sistemas y procedimientos para garantizar la seguridad de la infraestructura de tecnologías de la información y de los datos, a fin de proteger, detectar y responder ante posibles ataques.

LA INDUSTRIA 4.0 Y LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La transformación digital se relaciona con el proceso de adoptar e implementar tecnologías digitales en todos los aspectos de una organización, modificando fundamentalmente la forma en que opera e interactúa con su entorno. Implica un cambio cultural en los tomadores de decisiones y el personal de las empresas. La disponibilidad de información útil y las

herramientas para su análisis ofrecen mucho mejores condiciones para tomar decisiones basadas en evidencias, que se traducen en mejor ejecución de tareas, respuesta rápida ante problemas y beneficios para la innovación.

Está bien documentado que la industria 4.0 incrementa la productividad, sobre todo en aquellas empresas que ya han iniciado su automatización, porque las nuevas tecnologías digitales mejoran la eficiencia de sistemas automatizados, reduciendo consumos de energía, fallas y defectos de fabricación gracias a los sensores que detectan oportunamente cualquier anomalía (Kohpaiboon, 2020). También los costos de mantenimiento disminuyen, gracias a que sistemas autónomos pueden realizar revisiones rutinarias y algunas reparaciones.

Pero la transformación digital no sólo impacta al sector manufacturero. La agricultura está adoptando el uso de sensores para optimizar el riego y uso de fertilizantes y agroquímicos, drones para supervisión y control de plagas y el uso de datos para planificación de cosechas. La ganadería está incorporando inteligencia artificial, así como sensores y dispositivos conectados para monitorear en tiempo real diversos parámetros como la salud animal, la temperatura, la humedad, la alimentación y el comportamiento del ganado, con la posibilidad de ejecutar acciones de forma autónoma gracias al aprendizaje automático.

El comercio electrónico se ha incrementado notablemente y los servicios financieros han sido transformados mediante trámites en línea, nuevos mecanismos de financiamiento y medios de pago como las criptomonedas.

Los servicios públicos también se están transformando por la adopción creciente de soluciones digitales que aligeran las cargas burocráticas para los usuarios haciendo uso de aplicaciones y dispositivos móviles.

GOBERNANZA PARA LA INDUSTRIA 4.0

La gobernanza surge como un nuevo estilo de gobierno distinto del modelo de control jerárquico y de mercado. El nuevo estilo está caracterizado por un mayor grado de cooperación entre los gobiernos, las administraciones públicas y los actores no gubernamentales en la definición, ejecución y evaluación de las políticas públicas (Solleiro, 2022). Lo que cambia es el proceso de elaboración de las políticas públicas, buscando fundamentarlo en la colaboración, el consenso y la participación de distintos actores, para mejorar los resultados y eficacia de las políticas (Zurbriggen, 2011).

En el caso de la industria 4.0, se requiere un enfoque de gobernanza novedoso para abordar los desafíos y oportunidades que presenta. De acuerdo con el Foro Económico Mundial,² los gobiernos tienen que rediseñar la

forma en que operan para seguir adecuadamente el ritmo actual del cambio tecnológico, pues las regulaciones y procedimientos tradicionales no son útiles para contender con un entorno que evoluciona muy rápidamente. Es claro que no basta con entender las principales tendencias tecnológicas para hacer buen uso de las innovaciones y mitigar sus posibles riesgos; se necesita que los gobiernos participen en la transición, mediante políticas y regulaciones que fomenten el desarrollo y difusión de las innovaciones, evitando obstáculos innecesarios. Para lograr respuestas ágiles, es indispensable que los gobiernos colaboren con el sector privado, pues es éste el que mayor implicación tiene en la generación de innovaciones. Este acercamiento con las industrias innovadoras le facilita a los gobiernos el establecimiento del rumbo que debería seguir el desarrollo tecnológico para beneficiar ampliamente a la sociedad.

También es indispensable asumir que el fenómeno de la industria 4.0 es global, por lo que la gobernanza debe darle lugar a la dimensión internacional. Se necesita colaboración internacional para desarrollar estándares comunes, compartir mejores prácticas y abordar los riesgos y desafíos transfronterizos.

La gráfica 2 ilustra los principales elementos que deberían considerarse para el impulso de una gobernanza efectiva para la generación de políticas públicas de la industria 4.0.

GRÁFICA 2

ELEMENTOS ESENCIALES DE GOBERNANZA PARA EL IMPULSO DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN TORNO A LA INDUSTRIA 4.0

Enfoque holístico

- Abarcar todos los aspectos de la transformación digital incluyendo inversión en aspectos clave como infraestructura, formación de recursos humanos y capacitación para la adopción de tecnologías)
- Involucrar a múltiples partes interesadas (gobierno, industria, academia, usuarios)
- Énfasis en los beneficios para la sociedad en su conjunto

Marco regulatorio flexible

- Evolucionar en consonancia con las innovaciones
- Enfoque al fomento y la adopción segura de innovaciones
- Directrices éticas claras para la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial
- Armonización con con regulaciones internacionales

Gestión efectiva de datos

- Ciberseguridad y protección de datos
- Propiedad intelectual

Principios de gobernanza

- Transparencia, rendición de cuentas, equidad, inclusión, privacidad y seguridad
- Procesos participativos para la toma de decisiones

FUENTE: Elaboración propia.

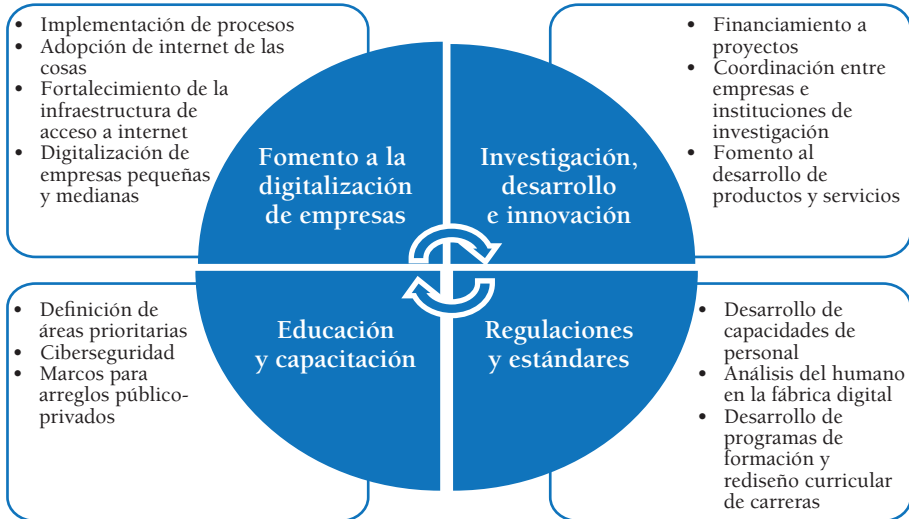
POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA INDUSTRIA 4.0

Para que un país capitalice económica y socialmente los beneficios de la industria 4.0 requiere la intervención deliberada y planificada de diferentes actores. Con esto en mente, la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas (2022) hizo un estudio para identificar qué economías están mejor preparadas para la industria 4.0 y encontró que las economías con mejores oportunidades son las que tienen mayor especialización en manufactura basada en la alta calificación de sus recursos humanos. Esto hace evidente la relevancia que tiene la inversión en educación y capacitación como parte fundamental de una política de desarrollo productivo. México fue clasificado como país con buenas oportunidades por sus exportaciones de bienes de alta tecnología (que, en su mayoría, se deben a operaciones de maquila de empresas multinacionales en el país), pero con calificación de sus recursos humanos por debajo del promedio, lo cual representa un desafío de política que se aborda en la última sección de este estudio.

El carácter estratégico de la industria 4.0 ha sido aceptado ampliamente. Por esos diversos países han diseñado políticas industriales para inducir una transformación estructural, incentivos para la adopción de las nuevas tecnologías de la información sobre todo por las empresas pequeñas, la formación y capacitación de recursos humanos, y el impulso al gobierno electrónico. El ejemplo de Europa es muy ilustrativo en el diseño de políticas en la materia, principalmente a través de la iniciativa de digitalización de la industria europea (European Commission, 2016), la cual ha tenido como uno de sus objetivos centrales impulsar la industria 4.0 para recuperar empleos perdidos en la competencia con países de menores costos laborales, a través de la utilización de tecnologías de automatización y robótica (Ciffolilli and Muscio, 2018).

Teixeira y Tavares-Lehmann (2022) realizaron un estudio sobre las políticas de países europeos para impulsar la industria 4.0. Las autoras clasifican las intervenciones públicas integradas en 25 planes nacionales implantados entre 2011 y 2021 y las clasificaron en las áreas ilustradas en la gráfica 3, las cuales ofrecen una referencia útil para identificar los elementos de una política en esta materia. Cabe destacar que, para la ejecución de estos instrumentos de política, los países europeos han puesto particular atención a propiciar una gobernanza participativa que facilita la toma de decisiones, los acuerdos entre los sectores públicos y privados, y el financiamiento conjunto de proyectos entre gobiernos y empresas.

GRÁFICA 3
POLÍTICAS DE IMPULSO A LA INDUSTRIA 4.0 EN EUROPA



FUENTE: Elaboración propia a partir de Teixeira y Tavares- Lehmann (2022).

LA POLÍTICA DE DIGITALIZACIÓN EN MÉXICO

Oropeza y Berasaluce (2021) realizaron un análisis de las políticas digitales en México durante este siglo. De acuerdo con estos autores, a lo largo de estos años se ha priorizado el acceso a internet para la población del país, lo cual se ha logrado apenas parcialmente porque persisten problemas de infraestructura y conectividad, en buena parte porque las estrategias de las últimas cuatro administraciones federales han contado con presupuestos bajos y se ha carecido de continuidad en los instrumentos para impulsar dichas estrategias.

A pesar de esto, México ha avanzado paulatinamente en su proceso de digitalización de actividades gubernamentales, automatizando diversas actividades y promoviendo intercambio de datos entre dependencias.

En el caso de la industria, el uso de las tecnologías de la información se ha intensificado, aunque de forma heterogénea, pues empresas grandes integradas a mercados internacionales son las que tienen mayor progreso en cuanto a la automatización de sus procesos productivos, uso de datos y servicios en la nube. Por su parte, la mayoría de las empresas pequeñas apenas ha adoptado el uso de computadoras, internet y algunas soluciones digitales. En 2017 México ocupó el lugar 87 en el Índice de Desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación elaborado por la

Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2017), mientras que en el Índice de Madurez de Conectividad de 2020, ocupó el lugar 63 (Sutta y Lanvin, 2020).

Actualmente, el gobierno federal mantiene como prioridad de la Estrategia Digital Nacional 2021-2024 la cobertura de internet para todo el país. Esta estrategia fue publicada en el Diario Oficial el 6 de septiembre de 2021, a la mitad del sexenio, lo cual indica que se emite con retraso. Su misión es “promover e impulsar que las y los mexicanos gocen y se beneficien del acceso a las tecnologías de la información y comunicación; así como de los servicios de banda ancha e internet y su potencial transformador para el desarrollo social, cultural y económico”. Los principios que rigen la estrategia son: austeridad, combate a la corrupción, eficiencia en los procesos digitales, seguridad de la información, soberanía tecnológica. En línea con el principio de austeridad, la estrategia no contempla asignación presupuestal para cumplir con sus objetivos, los cuales están orientados a fortalecer los sistemas de información gubernamentales sin darle atención al impulso de la digitalización en las empresas ni a la formación de capacidades para tener acceso a internet para adoptar y generar soluciones avanzadas. Esto deja de lado la atención al tema de formación de capacidades digitales, aunque de acuerdo con el diagnóstico de la UIT para 2021, el porcentaje de individuos con capacidades avanzadas en tecnologías de la información es de sólo el 7% (ITU, 2021).

A pesar de las debilidades que tiene la Estrategia Digital Nacional en materia de infraestructura y conectividad, se espera que México avance en la adopción de tecnologías que hacen posible el impulso de la industria 4.0, concretamente la 5G. Según la GSMA (2022), para 2030 se estiman en México 87 millones de conexiones móviles 5G, lo que representará el 62% de conexiones totales y una contribución económica del 0.8% del PIB.

Por otro lado, en la Estrategia Digital Nacional tampoco se identifican industrias prioritarias para fomentar su digitalización, como se ha hecho en otros países. Esto se explica si se observa que apenas el 21 de septiembre de 2022, la Secretaría de Economía hizo público el documento “Rumbo a una política industrial” en el que propuso cinco sectores estratégicos y cuatro acciones transversales que muestran una mejor orientación hacia la modernización de la industria: 1) innovación y tendencias tecnológicas-científicas; 2) formación de capital humano para las nuevas tendencias; 3) promoción de contenido regional y encadenamiento para las micro, pequeñas y medianas empresas; y 4) industrias sostenibles y sustentables.

Esta propuesta de política industrial llegó tarde y sin contar con ningún planteamiento de presupuesto para sustentar las acciones consideradas. La

titular de la Secretaría de Economía encargada de este documento fue sustituida un par de semanas después de su publicación, lo cual cuestiona seriamente su ejecución, dejando un vacío notable en cuanto a la estrategia de desarrollo industrial del país y su incorporación planificada al fenómeno de la Industria 4.0.

Como puede observarse, México tiene mucho que aprender sobre los pilares de las políticas industriales y de desarrollo digital. Ya es urgente que se adopte una postura estratégica para un fenómeno que no sólo tiene implicaciones económicas sino también de transformación social. Si México no toma decisiones pronto, tendrá que resignarse a que la forma en que se adopte la digitalización de la economía del país sea dependiente y reactiva.

ASPECTOS CENTRALES A CONSIDERAR EN LA POLÍTICA INDUSTRIAL DE MÉXICO

La política industrial de México ha estado marcada por un enfoque orientado: primero hacia la sustitución de importaciones y la protección de sectores específicos de la economía; y, posteriormente a la promoción de las exportaciones, con énfasis en industrias como la automotriz, la aeroespacial y la maquiladora de exportación. Si bien esta estrategia puede haber sido relevante en el pasado, ahora es necesario adoptar un enfoque más dinámico y orientado hacia la promoción de la economía digital y que contemple al menos los aspectos de innovación, articulación de cadenas de valor, condiciones marco y financiamiento.

Innovación para la inserción de México en la industria 4.0

La promoción de la innovación y el desarrollo tecnológico como motores del crecimiento económico, implica invertir en investigación y desarrollo (I+D), fortalecer la colaboración entre el sector público, privado y académico, y fomentar la adopción de tecnologías digitales y de la información en todos los sectores de la economía.

En esta tarea, la participación del Estado es fundamental para establecer objetivos de largo plazo y lanzar incentivos que motiven el cambio deseado en el comportamiento de otros actores. Infortunadamente, la política en materia de ciencia, tecnología e innovación en México ha ido en el sentido contrario, rompiendo inclusive la interlocución con el sector privado (Solleiro, 2023).

La actual administración federal desapareció desde 2019 el instrumento más definitivo para fomentar el desarrollo tecnológico de la industria que se tuvo entre el 2009 y el 2018, el *Programa de Estímulos a la Innovación*

(PEI), administrado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT. El PEI establecía un conjunto de apoyos directos a proyectos de desarrollo tecnológico realizados por empresas y, en más del 80% de los casos, con vinculaciones con Instituciones de Educación Superior o con Centros Públicos de Investigación. Además del PEI, también se desaparecieron otros programas como el *Fondo de Innovación Tecnológica* que canalizaba apoyos a emprendedores de base tecnológica para poder escalar sus desarrollos para alcanzar éxito comercial; el Fondo Sectorial de Innovación administrado por la Secretaría de Economía y el CONACyT, así como el *Programa Sectorial de Energía*, con dos componentes, uno administrado con la Comisión Federal de Electricidad, y el *Fondo de Hidrocarburos*, ligado a Petróleos Mexicanos.

Por su importancia se resalta también la desaparición de los apoyos a través de *Bonos de Innovación*, bajo los que se estimulaban interacciones de empresas con las instituciones en las que estaban localizadas las Oficinas de Transferencia de Tecnología certificadas por el propio FINNOVA.

Por su parte, la cancelación de los Fideicomisos de los Centros Públicos de Investigación y de los más de 60 Fideicomisos que sustentaban los Fondos Sectoriales y Mixtos, así como la reducción de los presupuestos de las entidades públicas dedicadas a investigación y desarrollo, son indicador de que será difícil que en el gobierno de AMLO pueda llegarse a plantear un sistema de apoyo a la innovación y al desarrollo tecnológico que permita mejorar la inserción virtuosa de México en la cuarta revolución industrial.

Articulación de cadenas de valor y refuerzo de las condiciones marco

Otro cambio necesario en la política industrial de México es fortalecer la articulación interna de las cadenas de valor, lo cual se puede facilitar mediante medios digitales y comercio electrónico. En cuanto a la integración a cadenas globales de valor, México tiene la oportunidad de convertirse en un hub de manufactura avanzada y logística, particularmente en América del Norte mediante el *nearshoring*, aprovechando su posición geográfica estratégica y su red de acuerdos comerciales. Pero aprovechar esta oportunidad implica mejorar sustancialmente su infraestructura de transporte y comunicaciones, reducir los costos logísticos y promover la cooperación industrial y tecnológica con otros países de la región.

Asimismo, es crucial revisar y modernizar el marco regulatorio y las políticas de fomento industrial en México para garantizar un ambiente empresarial favorable y competitivo. Esto incluye simplificar los trámites administrativos, reducir la burocracia, mejorar la protección de la

propiedad intelectual, y fortalecer los mecanismos de apoyo a las pymes y *startups*.

En el caso de las áreas de política industrial en las que existan capacidades y recursos institucionales disponibles en áreas complementarias a la industrial –como la política de innovación, ciencia y tecnología, fomento del emprendimiento, y promoción de las exportaciones– es recomendable la implementación de mecanismos horizontales disponibles para todas las actividades industriales.

En el caso de los instrumentos horizontales, hay que poner énfasis en el refuerzo de las condiciones marco, las cuales se refieren a los elementos estructurales que generan el ambiente en el que operan empresas, organizaciones e industrias.

Las siguientes son las condiciones marco mínimas para crear ese entorno propicio para el desarrollo industrial digital.

- Marco normativo. Se requieren regulaciones y normas claras; no basta contar con instrumentos jurídicos, se requiere también su aplicación efectiva.
- Acceso a financiamiento. Contar con fuentes accesibles y confiables de financiamiento es una condición indispensable para viabilizar las inversiones de empresas consolidadas y *startup*.
- Infraestructura. Para transportar, almacenar y mantener las características de calidad de productos, así como para mantener la comunicación a lo largo de la cadena de valor, se requieren caminos en condiciones óptimas, terminales logísticas multimodales, almacenes y conectividad de alta velocidad.
- Energía. Carrillo et al. (2022) citando al Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen) indican que la oferta eléctrica en 2021 fue 13.2% mayor que la demanda del Sistema Eléctrico Nacional. Sin embargo, la capacidad de generación actual será insuficiente para satisfacer la demanda a partir del 2025. En mayo de 2024, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) alcanzó su demanda máxima, rozando los 48 mil 472 megawatts de energía eléctrica consumida en una hora. Cabe detallar que el margen de reserva operativa que establece la normatividad para que pueda operar el SEN es de 6%, por lo que si se registran niveles más bajos, se debe declarar Estado Operativo de Emergencia.³
- Agua. La industria requiere de agua para sus diversos procesos productivos. El agua también es necesaria para generar energía eléctrica, ya sea mediante plantas hidroeléctricas o termoeléctricas. Toda la franja fronteriza del norte de México está en el nivel de alta presión por el agua,

lo cual es un serio obstáculo para la instalación de nuevas empresas. El reporte de avance del Programa Nacional Hídrico 2020-2024 al año 2021 revela que el trabajo se ha concentrado en vigilar el cumplimiento de normas, pero no hay evidencia de que se haya ejecutado un programa de inversiones para mejorar sustantivamente la infraestructura (Solleiro y Castañón, 2024).

- Acceso a mercados. Crear las condiciones para facilitar el acceso a mercados nacionales y extranjeros es crucial para el desarrollo del sector agroalimentario. No basta la infraestructura, pues deben desarrollarse procedimientos expeditos y confiables para asistir a las empresas en la comercialización y sus procesos.
- Personal calificado. El dominio de las nuevas tecnologías para la industria requiere competencias en temas emergentes. Por ello, la formación de recursos humanos, así como los programas de educación continua y capacitación son esenciales. La inversión en esta área es la base para detonar empresas innovadoras y debe reconocerse que el país se está rezagando en virtud de su nuevo enfoque hacia la educación, con carencias en la formación de capacidades científicas. Es importante elaborar políticas para cerrar las brechas educativas significativas en términos de calidad y cobertura, las cuales generan una fuerza laboral con niveles de formación heterogéneos y poco preparados para las exigencias de la nueva era industrial.
- Aseguramiento de calidad y procesos de certificación. El acceso a mercados especializados requiere mecanismos confiables que garanticen la calidad de los productos, por lo que se debe hacer un esfuerzo mayúsculo para que las empresas cuenten con un entorno que apoye los procesos de certificación y que, paralelamente, garantice el cumplimiento de las regulaciones asociadas a la calidad.

Políticas sectoriales

En cuanto a las políticas verticales, para el caso de las ramas identificadas recientemente por la Secretaría de Economía (2022) como prioritarias se recomienda crear instrumentos verticales, que cuenten con un diseño que permita su implementación y evaluación acordes con su especificidad tecnológica y de mercado, así como con los actores tipo de empresas participantes y sus relaciones, pues es muy importante aprovechar los vínculos existentes con el sector empresarial para su diseño.

Los instrumentos verticales deben tener la escala suficiente para generar impactos en el corto y mediano plazo, por lo que se recomienda crear

un número limitado de instrumentos para evitar que los recursos limitados se pulvericen y que los impactos sean poco significativos.

Tomando en cuenta lo anterior, se recomienda analizar explícitamente la complementariedad de los instrumentos horizontales y verticales de la política. Por ejemplo, debe existir una distinción conceptual entre los instrumentos dirigidos a la demanda de recursos para la innovación, cambio tecnológico, desarrollo de capacidades y la oferta de investigación y desarrollo, y recursos humanos. También se debe tener en cuenta que los instrumentos pueden ser dirigidos a objetivos con distintos horizontes de maduración como el desarrollo de capacidades digitales para la exportación o acercar las capacidades de las empresas a la frontera tecnológica.

Financiamiento

En relación con el financiamiento, la política industrial de México requiere diversificar sus instrumentos disponibles para apoyar la construcción de capacidades productivas:

- Los incentivos fiscales han tenido una baja cobertura y se han concentrado en las empresas con mayores capacidades económicas, por lo que se recomienda evaluar el impacto de dichos instrumentos sobre los indicadores de la política industrial. Hay que facilitar el acceso de las empresas, sobre todo las pequeñas, a las exenciones fiscales, pues los requisitos administrativos han actuado como inhibidores.
- Por otro lado, los instrumentos financieros (subvenciones directas, capital de riesgo y créditos preferenciales) deben tener la capacidad de responder a cambios en el entorno y a la diversidad de condiciones de las empresas.
- Las Alianzas Público-Privadas son esenciales para impulsar el desarrollo de las cadenas productivas y la construcción de infraestructura en áreas críticas (generación de energía y conectividad digital, por ejemplo), pues son una forma ideal de construir y poner en práctica consensos que recojan los intereses de distintos sectores alrededor de la transformación económica, regional y social. Devlin y Moguillansky (2010) recomiendan que estas alianzas descansen en tres pilares: una visión estratégica de país a mediano y largo plazos; un respaldo decisivo del Estado a las alianzas público-privadas y una ejecución eficaz, basada en objetivos claros, adopción de buenas prácticas para la ejecución, y mecanismos de monitoreo y evaluación de resultados, basados en indicadores confiables.

REFLEXIONES FINALES

Se recomienda evaluar la factibilidad de crear en México una agencia implementadora de los instrumentos de la política, de naturaleza público-privada para lograr una administración más eficaz y eficiente, de tal forma que le permita ejecutar con mayor agilidad y transparencia los instrumentos y explorar áreas de oportunidad con un mayor acercamiento al sector privado.

Para ejecutar los instrumentos de la política industrial, se requiere inversión creciente y estable en los tres niveles de gobierno, y promoción de la participación activa de las instituciones públicas y privadas en el impulso y financiamiento de la educación, la investigación, el desarrollo tecnológico, la construcción de infraestructura y la formación de capital.

Es indispensable trabajar en la mejor coordinación entre las secretarías de Estado y agencias gubernamentales, organizaciones empresariales, instituciones educativas, empresas y sociedad civil, para el diseño, ejecución y evaluación de los programas relacionados con la política industrial enfocada en la industria 4.0.

El marco jurídico debe revisarse para que esté acorde con los nuevos tiempos, en los que la gobernanza es participativa y los instrumentos de la política favorecen los arreglos público-privados, para crear sinergias en lugar de antagonismos.

Se debe crear un sistema de financiamiento público-privado para proyectos empresariales innovadores que cuente con instrumentos de largo plazo de la banca de desarrollo y otros de la banca comercial accesibles a empresas pequeñas, de manera que aumenten la canalización de recursos para el desarrollo de programas y proyectos en los que la participación empresarial es esencial.

Se requiere un sistema sencillo, oportuno y transparente de seguimiento, evaluación y control de los instrumentos de la política industrial que asegure la eficacia en el uso de los recursos presupuestales. Para este propósito se requiere fortalecer las bases de información, los sistemas de análisis y la medición sistemática de indicadores confiables.

Adicionalmente, es claro que en el caso de la política industrial digital México requiere de la coordinación de políticas complementarias entre las instituciones a cargo de su implementación y del fortalecimiento de vínculos con actores relevantes para su desarrollo. Por lo anterior, se considera necesaria la activación de un consejo de promoción industrial digital de alto nivel que cuente con la participación de las secretarías responsables de los sectores relacionados con la producción de bienes y servicios (Secretaría

de Economía; Agricultura; Educación; Infraestructura, Comunicaciones y Transportes; Energía; Salud; y Hacienda), representantes del sector privado y de la academia, cuyo propósito sea definir y darle seguimiento a las metas de la política industrial del país. Los integrantes del sector público deben representar a nivel político y técnico las áreas complementarias de política sectorial para alcanzar sinergias favorables.

En síntesis, la política industrial digital es una herramienta indispensable para que México pueda aprovechar las oportunidades de la cuarta revolución industrial. Es fundamental que el gobierno de la próxima administración implemente políticas públicas que fomenten efectivamente la inversión en infraestructura digital, la formación de capital humano, la innovación y la creación de un entorno regulatorio favorable. Solo así se podrá lograr una transformación económica y social que beneficie integralmente a los ciudadanos.

Es importante recordar que la política industrial digital no es una solución mágica. Su éxito dependerá de la capacidad del gobierno para trabajar en colaboración con el sector privado, la academia y la sociedad civil. Un esfuerzo conjunto y sostenido es la clave para que México pueda aprovechar al máximo el potencial de la era digital.

NOTAS

¹ <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/>

² <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000001RIhBEAW/key-issues/a1Gb00000027vYrEAI> consultada el 30 de abril de 2024

³ <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/alejo-sanchez-cano/2024/05/10/crisis-energetica-sin-precedentes/>

BIBLIOGRAFÍA

Alcácer, Víctor y Cruz-Machado, Virgilio (2019), “Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems”, *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, 22, pp. 899-919.

Carrilo, Jesús; Díaz, Diego; Mancera, Sonia; Ocampo, Oscar y Ramiro, Montserrat (2022), *La energía que queremos: Infraestructura, regulación y Estado de derecho para un sector energético que detone la competitividad en México*, Instituto Mexicano para la Competitividad, en: <https://imco.org.mx/la-energia-que-queremos-2/>

Ciffolilli, Andrea y Muscio, Alessandro (2018), “Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies”, *Eur. Plan. Stud.*, 26 (12), pp. 2323-2343, en: <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1529145>

- Devlin, Robert y Moguillansky, Graciela (2010), “Alianzas público-privadas para una nueva visión estratégica del desarrollo”, *Libros de la CEPAL*, Santiago de Chile, en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ab6f6356-95fa-4bae-8823-91dcadf16145/content>
- Diario Oficial de la Federación (2021), *Acuerdo por el que se expide la Estrategia Digital Nacional 2021-2024*, Ciudad de México, 6 de septiembre de 2021.
- European Commission (2016), *Digitising European Industry* en: <https://wayback.archive-it.org/12090/20170327094440/https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digitising-european-industry>
- GSMA (2022), *La tecnología 5G en el panorama de conectividad de América Latina*, en: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2023/06/290623-5G-in-Latam-ESP.pdf>
- ITU (2017), *The ICT Development Index*, International Telecommunications Union, Ginebra, en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx>
- ITU (2021), *Digital Trends Reports 2021*, International Telecommunications Union, Ginebra, en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/WTDC/WTDC21/Pages/RPM/Digital-Trends-Reports-2021.aspx>
- Kohpaiboon, Aarchanun (2020), “Industry 4.0 Policies in Thailand”, *Economics Working Paper No. 2020 – 02*, ISEAS Yusof Ishak Institute, Singapur.
- Oropeza, Arturo y Berasaluce, Julen (2021), *De la revolución industrial a la revolución digital*, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM e IDIC, Ciudad de México.
- Secretaría de Economía (2022), *Rumbo a una política industrial*, Ciudad de México, en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/761984/Rumbo_a_una_Pol_tica_Industrial.pdf
- Solleiro, José Luis (2022), “Gobernanza de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación”, en Montes de Oca Barrera, Laura Beatriz y Martínez Salvador, Laura Elena (editoras), *Caminos de la gobernanza en México: avances, pausas, obstáculos y retrocesos*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales, pp. 267-307.
- Solleiro, José Luis (2023), “La industria 4.0 y los cambios en la política industrial”, *Ciencia* 74,2, pp. 56-61.
- Solleiro, José Luis y Castañón, Rosario (2024), “México y sus desafíos de infraestructura ante el nearshoring”, en Oropeza, Arturo (coord.) *Nearshoring. La oportunidad de un nuevo desarrollo económico y social para México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas, pp. 246-266
- Teixeira, José Elvira y Tavares-Lehmann, Ana Teresa (2022), “Industry 4.0 in the European union: Policies and national strategies”, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 180, en: doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121664
- Zhang, Cai Ming y Chen, Yong (2020), “A review of relevant to the emerging industry trends: industry 4.0, IoT, blockchain, and business analytics”, *Journal of Industrial*

Integration and Management-Innovation and Entrepreneurship, 51 (1), pp. 165-180,
en: <https://doi.org/10.1142/s2424862219500192>

Zurbriggen, Cristina (2011), “Gobernanza: una mirada desde América Latina”, *Perfiles Latinoamericanos*, 38, pp. 39-64, en: <https://www.redalyc.org/pdf/115/11519271002.pdf>