

Industria 4.0 como política pública: un estudio comparado de estrategias para cuatro países¹

Industry 4.0 as a Public Policy: a Comparative Study

Ángeles Ortiz-Espinoza²

Artículo recibido el 16 de junio de 2024; artículo aceptado el 8 de octubre de 2024

Este artículo puede compartirse bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#) y se referencia usando el siguiente formato: Ortiz-Espinoza, A. (2025). Industria 4.0 como política pública: un estudio comparado de estrategias para cuatro países. *I+D Revista de Investigaciones*, 20(1), 57-68. <https://doi.org/10.33304/revinv.v20n1-2025005>

Resumen

La Industria 4.0 se basa en el uso de tecnologías disruptivas como el IoT y la IA con una conectividad ubicua que permitan aumentar el volumen de producción, la capacidad de diversificar productos e incrementar el flujo de datos para mayor flexibilidad y anticipación ante cambios del mercado. Pese al componente técnico que describe al término, este surge a partir de una estrategia de política pública planteada por el Gobierno alemán y algunos autores lo describen como un concepto más bien político. El presente texto tiene como objetivo hacer un análisis comparado de cuatro estrategias de política vinculadas al desarrollo de la Industria 4.0. Los casos elegidos para este fin son: Industrie 4.0 del gobierno alemán; el Plan de Manufactura Inteligente de los Estados Unidos, la estrategia “Sociedad 5.0” del gobierno japonés y las líneas de acción del Gobierno mexicano para impulsar la Industria 4.0 en el país.

Palabras clave: política industrial, desarrollo tecnológico, innovación, desarrollo económico, tecnología avanzada.

Abstract

Industry 4.0 is based on disruptive technologies such as IoT and AI with ubiquitous connectivity to increase production volume, the ability to diversify products, and improve the flow of data for greater flexibility and anticipation of market changes. Despite the technical component that describes the term, it arises from a public policy strategy proposed by the German government and some authors describe it as a rather political concept. The purpose of this text is to make a comparative analysis of four policy strategies linked to the development of Industry 4.0. The cases chosen for this purpose are Industrie 4.0 of the German government; the Smart Manufacturing Plan of the United States, the “Society 5.0” strategy of the Japanese government; and the lines of action of the Mexican government to boost Industry 4.0 in the country.

Keywords: industrial policy, technological development, innovation, economic development, advanced technology.

Introducción

La noción de Industria 4.0 (I4.0) se sostiene en el uso de tecnologías disruptivas y una conectividad industrial que permitan aumentar el volumen de producción, así como la capacidad de diversificar productos e incrementar el flujo de datos disponibles en tiempo real a fin de producir una mayor flexibilidad

y anticipación ante cambios del mercado (Eslava, 2021; Micheli Thirion, 2022). Pese a los cambios cualitativos que supone el desarrollo de la I4.0, el concepto está vinculado a iniciativas estatales que impulsan el uso de diversas tecnologías disruptivas como el internet de las cosas (IoT), el *big data*, el cómputo en la nube, la inteligencia artificial y los

¹ Investigación de tipo cualitativa que formó parte del proyecto CONAHCYT Ciencia de Frontera 2019 n.º 304320, una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México, apoyado por el Fondo FORDECYT-Pronaces.

² Doctora en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas (México) Dirección: Av. Preparatoria s/n, Col. Hidráulica, C. P. 98068. Zacatecas. ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-9852-8342>. Correo electrónico institucional: angeles.ortiz.espinoza@uaz.edu.mx. Rol Credit de la autora: investigación.

ambientes ciberfísicos en los sistemas de producción; el propio término surge a partir de una estrategia planteada por el gobierno alemán para el fortalecimiento tecnológico de las pequeñas y medianas empresas (Acatech, 2013; Casalet, 2018; Knutov y Styrin, 2020), por lo que algunos autores lo describen como un concepto más político que técnico (Schütze *et al.*, 2018).

En este sentido, el objetivo del presente trabajo es hacer un análisis comparado de cuatro diferentes estrategias gubernamentales generadas a fin de impulsar el desarrollo de la I4.0 para encontrar similitudes y diferencias entre sus ámbitos de acción, estrategias planteadas e impactos esperados. Debido a las diversas trayectorias que presenta cada uno, los casos elegidos para el análisis por presentar son: (1) el planteado por el Gobierno alemán para mantener la competitividad entre pequeñas y medianas empresas y empresas manufactureras, *Industrie 4.0*; (2) la estrategia del Gobierno japonés titulada “Sociedad 5.0” cuya peculiaridad es que no solo aborda elementos propios del sistema industrial y empresarial, sino que también considera el componente social y la infraestructura en ciudades; (3) el Plan de Manufatura Inteligente de Estados Unidos fundamentado en el fortalecimiento del internet de las cosas (IoT) para incrementar la productividad y (4) las líneas de acción establecidas por el Gobierno mexicano para impulsar el desarrollo de la industria 4.0 en el país.

Además de esa breve introducción, el presente artículo se divide en cuatro partes principales. En un primer momento, se exponen los elementos que componen el concepto de la I4.0 desde su perspectiva técnica y de negocios, así como en lo concerniente a sus implicaciones de política pública. Enseguida, se hará una breve explicación de la metodología realizada para el análisis propuesto. Posteriormente, serán desarrollados los principales resultados obtenidos de la revisión documental realizada, para finalizar con la exposición de la discusión y algunas conclusiones.

Por cuestiones de espacio y debido a que cada uno de los casos revisados implicaría un análisis en profundidad en sí mismo, el presente texto no ahonda en herramientas de política particulares, sino que ofrece una descripción panorámica de las estrategias utilizadas en los cuatro casos elegidos haciendo un comparativo de ciertas categorías seleccionadas.

¿Qué es la Industria 4.0?

³ Este concepto se refiere a las compañías, mayormente de servicios, basadas en transacciones en líneas y que se caracterizan por tener escasa o nula infraestructura material; sus trabajadores

El elemento técnico: tecnologías disruptivas

El término I4.0 se ha vinculado a muchos otros conceptos tales como: cuarta revolución industrial, *Smart Manufacturing*, *Smart Industry*, *Internet Industrial* o *Smart Factory*. La gran mayoría de ellos refieren únicamente al componente técnico del proceso industrial enfatizando la autonomía de la máquina y su interacción con otros dispositivos como consecuencia de su capacidad de conexión; todos estos conceptos hacen referencia a un listado de tecnologías orientadas a la digitalización de los procesos productivos y la gestión de sistemas de información (Basir *et al.*, 2019; Nosalska *et al.*, 2019; Oztemel y Gursev, 2020).

Con base en lo anterior, se puede decir que la noción de I4.0 se conceptualiza a partir de dos componentes técnicos: el que alude al uso de determinada tecnología y el que implica modificaciones en la forma de hacer negocios. Por lo que toca al componente tecnológico, este refiere el uso de sistemas ciberfísicos; la concepción de una fábrica inteligente, es decir, una fábrica conectada cuyos aparatos sean capaces de tomar decisiones por medio de inteligencia artificial y la capacidad de comunicación entre objetos (Nosalska *et al.*, 2019). Por su parte, el componente de negocios se vincula a una mayor integración de la cadena de valor como consecuencia de la comunicación en tiempo real y el procesamiento de *big data*; la creación de modelos de negocios como la economía colaborativa³ y la preminencia de los productos inteligentes con una alta capacidad de personalización (Nosalska *et al.*, 2019).

La producción basada en sistemas ciberfísicos, la IoT y la IA son los elementos básicos que definen a la industria surgida en el marco de la revolución tecnológica que experimentamos en la actualidad y que, con frecuencia, ha sido nombrada I4.0. Como ya se mencionó, la finalidad última de este tipo de industria es conseguir la completa automatización de los procesos productivos utilizando el procesamiento de grandes cúmulos de información para generar un alto nivel de predictibilidad de los patrones de consumo y una gran flexibilidad y adaptación de los sistemas de producción (Eslava, 2021). Para que la I4.0 pueda potencializar estos objetivos, son necesarios dos tipos de infraestructura a fin de permitir el flujo continuo de datos e información: nanosensores de tamaño cada vez más reducido, que sean multifuncionales y que tengan una mayor capacidad para transmitir de información, así como una red de interconexión que comparta esta última característica, promesa que se busca alcanzar con la quinta

ponen a disposición de la empresa sus bienes: sus autos en Uber o sus casas en Airbnb.

generación de conexiones inalámbricas: las redes 5G (Foladori y Ortiz-Espinoza, 2021; Ortiz-Espinoza, 2022).

Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), *big data*, cómputo en la nube, aprendizaje automático, sistemas ciberfísicos e impresión 3D, son algunas de las tecnologías disruptivas cuya confluencia define a la I4.0 en buena parte de la literatura sobre el tema (Nosalska *et al.*, 2019). Dichas tecnologías implican la posibilidad de una integración de las personas, los objetos y el medioambiente (Basir *et al.*, 2019): las interconexiones entre las tecnologías vinculadas a la I4.0 no solo funcionan a través de la fusión entre lo físico y lo digital, sino que también integran lo biológico (Schwab, 2017).

A pesar de que la mayoría de los componentes del concepto se vinculan a la parte material de las relaciones productivas, de manera inevitable deriva en cambios sociales y estructurales. Aunque algunos autores afirman que la I4.0 parte de las tecnologías menos disruptivas en comparación con las revoluciones tecnológicas previas (Qureshi, 2017), la combinación de sus características permite entender la novedad e importancia que conllevan: la primera vez en la historia que la posibilidad de una completa automatización de procesos industriales es factible (Ford, 2016). Por otro lado, si bien las revoluciones industriales previas se conducían sobre innovaciones en los procesos y los sistemas de manufactura, la I4.0 se distingue porque se conduce en torno a un ambiente inteligente e interconectado: la I4.0 está dada por la hiperconectividad y una producción orientada por el manejo de datos (European Regional Development Fund, 2020; Micheli Thirion, 2022).

La política pública de la Industrial 4.0

Como se ha visto, el término I4.0 se vincula con tecnologías disruptivas específicas y su interacción. Sin embargo, se ha cuestionado el nivel de los beneficios económicos que estas tecnologías aportan: hay quienes consideran que no proporcionan el mismo beneficio económico que las que les precedieron y aquellos que piensan que estas tienen un potencial subutilizado para generar un rápido incremento de la productividad (Qureshi, 2017). Una posición intermedia refiere a que los beneficios económicos de las tecnologías disruptivas no van a ocurrir de forma automática o inmediata, sino que para obtenerlos es indispensable que se generen estrategias adaptativas a fin de complementar las capacidades de la fuerza de trabajo, las estructuras organizativas y las políticas públicas que tengan injerencia en el funcionamiento de los mercados (Qureshi, 2017).

A pesar de que la inversión pública en investigación y desarrollo se ha reducido en los últimos años, se ha

sugerido la necesidad de incrementarla para generar conocimiento público y elaborar programas para la divulgación de los resultados de esta inversión a fin de que las empresas tengan acceso igualitario a ella (Qureshi, 2017). De igual modo, se ha recomendado que el Estado establezca mecanismos para recuperar la inversión hecha, con el objetivo de fortalecer los presupuestos designados al desarrollo de ciencia y tecnología (Qureshi, 2017).

Una política industrial abarca diversos elementos, que van desde la asignación de presupuestos a proyectos estratégicos, hasta la implementación de mecanismos de ingeniería institucional (Cimoli *et al.*, 2009). Estos últimos están diseñados para alterar las dinámicas del mercado mediante cambios en el comportamiento de los actores económicos que lo integran (Cimoli *et al.*, 2009)

En lo que toca a la política industrial, Rothwell y Zegveld (1981) consideran que existen tres capas de intervención de la política pública: la oferta, la demanda y el entorno. La primera refiere al establecimiento de programas enfocados en la creación de empresas y su fortalecimiento (p. ej., oferta educativa apropiada, desarrollo científico e información abierta para las empresas). Por su parte, la demanda implica la promoción de estructuras externas a las empresas, pero que las provean de los servicios necesarios para su funcionamiento (p. ej., servicios bancarios y comerciales, y existencia de parques industriales). Por último, el entorno refiere al establecimiento de reglas y programas públicos para el funcionamiento de un mercado competitivo (p. ej., financiamiento, regulación y planes nacionales de información). En este trabajo es el último de los componentes el que nos interesa analizar, particularmente lo que refiere a los programas y estrategias de política pública enfocados al desarrollo y al financiamiento enfocado expresamente en la I4.0.

En este contexto, es importante mencionar que el concepto de I4.0 en sí mismo surge a partir de una estrategia de política pública industrial planteada por el Gobierno alemán para el fortalecimiento tecnológico y el mantenimiento de la competitividad entre las pequeñas y medianas empresas y las empresas manufactureras (Acatech, 2013; Knutov y Styrim, 2020). A pesar de que se ha dicho que el concepto I4.0 tiene dos perspectivas, una desde la academia y otra desde el entorno industrial (Soltovski *et al.*, 2020), lo cierto es que, desde la creación del término, se explora la relación de las políticas gubernamentales con la evolución de las innovaciones que intervienen en la I4.0 en el contexto de una dependencia cada vez mayor hacia los actores que ofrecen conectividad.

Aunado a lo anterior, como ya se ha mencionado, las empresas no pueden determinar ni las reglas ni los

planes de acción para perseguir la acción innovativa en su conjunto (Yang *et al.*, 2019), así como tampoco determinar cómo se hará un despliegue generalizado de insumos para la industria y la innovación como es el caso de las redes 5G: las innovaciones son mayormente manejadas hacia la búsqueda del desarrollo nacional de ciencia y tecnología (Yang *et al.*, 2019) y no específicamente hacia el desarrollo de un sector productivo. Algunos autores han mencionado la necesidad de establecer políticas públicas que propicien el desarrollo en ciencia, tecnología e innovación, sin dejar de estar orientadas al desarrollo y la competitividad industrial (Kuo *et al.*, 2019).

Por otro lado, varios autores han discutido cómo es que un tema se inserta en la agenda gubernamental. Si bien este no es uno de los objetos de análisis del presente texto, es conveniente hacer algunos breves comentarios al respecto, pues la aparición de programas estratégicos para el impulso de la I4.0 son representativos de algunos enfoques en relación con la formación de la agenda pública.

Un primer enfoque por resaltar tiene que ver con la atención hacia un asunto específico debido a su mediatización o a que este se encuentra en el centro de atención de interés (Downs, 1993). Al respecto, la presentación de la estrategia alemana en un espacio de alto impacto y mediatización, como lo fue la feria de Hanover de 2011, puso el tema en el foco público internacional de una manera contundente.

Por otro lado, algunas posturas teóricas sugieren que el establecimiento de la agenda puede derivar de la presión de fuentes externas ya sea debido a recomendaciones o tendencias marcadas desde las organizaciones internacionales, por transferencia de políticas, o como consecuencia de las presiones que pueden ejercer países fuertes sobre otros a fin imponerles temas que son de su interés (Ruiz, 2021).

Como veremos más adelante, en lo que respecta a la implementación de una estrategia de política pública para el desarrollo de la I4.0 es posible decir que existió cierta influencia de los actores externos sobre las políticas nacionales, sin embargo, esta influencia se ajustó al interés de los países por impulsar su competitividad. El abanderamiento de Alemania como una nación en pro del desarrollo de una industria altamente tecnificada, generó alerta en sus pares y fungió como un elemento de coacción para la movilización de las agendas nacionales a fin de posicionarse como punteros en una manufactura

inteligente y mantener sus niveles de competitividad en el espacio internacional.

Metodología

Tipo de estudio

La noción de políticas públicas comparadas se ha entendido como un enfoque teórico y como una metodología de análisis de los asuntos públicos (Fontaine, 2022). En el presente texto, se usa la segunda acepción del término a fin de contrastar elementos propios de algunos de los programas públicos que surgieron, con la finalidad de fortalecer e impulsar el desarrollo de la I4.0.

En el análisis propuesto se lleva a cabo una investigación sobre la génesis de la política pública a partir de la entrada en la agenda, el diseño y su formulación, lo anterior debido a que el desarrollo de la I4.0 aún está en proceso de expansión.⁴ Los casos seleccionados representan diferencias puntuales tomando en cuenta la estrategia de política pública de origen, es decir, el programa de política pública previsto para impulsar el desarrollo de la I4.0: Alemania por ser el país pionero en la formulación de políticas relacionadas con el tema; Japón por ser, si no el único, de las pocas naciones que incluye un componente cercano a la política social en el impulso de la I4.0; Estados Unidos por el fuerte componente de la iniciativa privada, y México porque aun cuando la estrategia existía, una vez que ocurre el cambio de administración federal no se le dio seguimiento y se conservó tan solo el componente de financiamiento,⁵ al menos hasta el año 2020.

A fin de llevar a cabo el análisis propuesto, se hizo una revisión documental tanto de fuentes primarias a partir de documentos oficiales provenientes de las instancias públicas de los cuatro gobiernos y actores vinculados, como de fuentes secundarias basadas en análisis y estudios comparativos previos que se han llevado a cabo mayormente desde la academia.

Una vez realizada la revisión documental, se hizo una sistematización de los distintos elementos que influyeron en el diseño de la estrategia de política pública para el despliegue de la I4.0 en los cuatro países analizados. Enseguida, se establecieron algunas categorías de comparación para distinguir las principales diferencias entre cada una de las estrategias diseñadas entre las que destacan: los objetivos y resultados esperados, actores e instancias que intervienen, tipo y fuentes de financiamiento,

⁴ Como se ha mencionado, uno de los componentes principales de este tipo de industria es la conectividad ubicua que prometen las redes 5G, las cuales aún se encuentran en proceso de despliegue en el mundo, por lo que es preciso esperar a su total funcionamiento para poder vislumbrar un pleno desarrollo de la I4.0.

⁵ Además de México, en América Latina apenas cuatro países han establecido algún tipo de plan o estrategia de política en el tema: Argentina, Brasil, Chile y Uruguay. Una comparación entre ellos será objeto de futuras investigaciones.

tecnologías y áreas de aplicación y programas vinculados. A continuación, se exponen los principales hallazgos.

Resultados

Alemania

Como se ha mencionado, el concepto I4.0 surge como una estrategia de política industrial planteada por el gobierno alemán derivado de su preocupación por los desafíos que las nuevas tecnologías de comunicación e información y la automatización representaban para los modelos de manufactura que orientaban la producción del país, en especial en lo tocante a las empresas manufactureras pequeñas y medianas (Kuo *et al.*, 2019). El principal interés era el fortalecimiento tecnológico y el mantenimiento de la competitividad (Acatech, 2013; Kuo *et al.*, 2019).

La estrategia se presentó en el 2011 con un presupuesto inicial de poco más de 36 000 millones de dólares de financiamiento mixto con contribuciones públicas, de instituciones académicas y universidades, así como de agencias especializadas en el desarrollo tecnológico (Volpe Rodrigues *et al.*, 2020). Entre los actores que participaron en el diseño del programa I4.0 destaca la Academia Alemana de Ingeniería y la Asociación Fraunhofer y Simmens, empresa que destaca por liderar buena parte del mercado de sistemas ciberfísicos (véase la Tabla 1). El programa fue dirigido por el Ministerio de Educación e Investigación y el Ministerio de Economía y Tecnología, el cual incluyó a la I4.0 como un proyecto de investigación y educación para el 2020 (Kuo *et al.*, 2019).

La coordinación entre diversos actores fue fundamental para su desarrollo. Entre ellos, instancias vinculadas a la investigación en la industria, las que se involucraron en el diseño y la planeación de proyectos sobre áreas de investigación particulares (Kuo *et al.*, 2019). Del mismo modo, se incluyó en el diseño a consultores externos de varias agencias especializadas en las temáticas específicas como la Asociación Alemana de Ingeniería Industrial (Kuo *et al.*, 2019).

El proyecto se basa en el establecimiento de líneas de acción con un alto componente en investigación y desarrollo para incorporar la tecnología en los procesos industriales, con especial interés en sistemas ciberfísicos e IoT (Volpe Rodrigues *et al.*, 2020). Del mismo modo, el Gobierno de Alemania consideró que el país era poco competitivo en lo referente a la creación de *software* y a las tecnologías vinculadas con IoT, por lo que se establecieron importantes líneas estratégicas vinculadas al mejoramiento de estas áreas de oportunidad (Kuo *et al.*, 2019). Además del plan estratégico propio, la I4.0 se incluyó como uno de los diez proyectos para el futuro en la Estrategia Alemana

de Alta Tecnología 2020, instrumento de política transversal de innovación y cuyo presupuesto alcanzó los 200 millones de euros (Comisión Europea, 2018; Kuo *et al.*, 2019).

Estados Unidos

El Plan de Manufactura Inteligente (Advance Manufacture Partnerships) fue elaborado por la Smart Manufacturing Leadership Coalition en 2011; incorpora acciones y recomendaciones orientadas a la inversión en tecnología avanzada, haciendo hincapié en la conexión total a través del IoT (Porter y Heppelmann, 2014; Volpe Rodrigues *et al.*, 2020).

Este plan derivó del reporte que hizo al Consejo de Consultores de Ciencia y Tecnología de Presidencia sobre el posicionamiento del país en lo que referente a la manufactura avanzada; este plan estuvo con la supervisión del mencionado Consejo y su misión era convocar a una cooperación entre el Gobierno, la industria y la academia a fin de identificar cuáles eran los desafíos y las oportunidades para estimular los procesos tecnológicos en las industrias manufactureras (Kuo *et al.*, 2019). Se hicieron varias recomendaciones englobadas en tres categorías: la habilitación de la innovación, garantizar el talento y mejorar las condiciones del entorno empresarial (Kuo *et al.*, 2019).

A la par, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos formula un plan similar, el Plan para el Desarrollo de la Manufactura Avanzada, pero a diferencia del primero, en este se incorpora la participación de distintos actores del gobierno, la academia y la industria (Kuo *et al.*, 2019). En consecuencia, entre 2012 y 2015 la presidencia del país promovió la creación de varios institutos de innovación manufacturera, el primero de ellos en coalición con el Departamento de Defensa, aunque el financiamiento provenía de distintas agencias públicas como el Departamento de Energía (Kuo *et al.*, 2019).

En 2014, el Senado de este país presenta una nueva versión del plan original y promueve la innovación desde proyectos establecidos por las empresas y conglomerados en telecomunicaciones y tecnología, como IBM y Cisco, líderes en la comercialización de varias de las tecnologías que componen a la I4.0 (véase la Tabla 1), creando así el Consorcio de Internet Industrial (IIC, por sus siglas en inglés) (Volpe Rodrigues *et al.*, 2020). Ese mismo año, el Congreso del país aprobó el Acta para Revitalizar la Manufactura y la Innovación Americanas (RAMI, por sus siglas en inglés), la cual exhorta a la Secretaría de Comercio de Estados Unidos a instituir el Programa de Red de Innovación de Manufactura (NNMI) cuyo objetivo es coordinar la inversión pública y privada para mejorar la competitividad y productividad de las empresas manufactureras del país (Kuo *et al.*, 2019).

Japón

Si bien desde 2013 el Gobierno japonés presentó un plan de revitalización industrial cuyo fin era mejorar el entorno empresarial, fue hasta 2015 que el Gobierno japonés publicó el plan llamado “Sociedad 5.0”, el cual planteaba lineamientos para el despliegue de sistemas, comunidades e infraestructura inteligentes (Volpe Rodrigues *et al.*, 2020). Este plan se diferencia de otros en vista de que no solo considera aquellos procesos o especificaciones vinculados a la cadena de suministro y logística de producción, sino también incluye estrategias tecnológicas para áreas como el cuidado de la salud (Gobierno de Japón, 2021).

El objetivo principal del programa es fundamentar las relaciones sociales en sistemas ciberfísicos y la gestión de grandes cúmulos de información almacenada en la nube y obtenida por medio de sensores dispuestos en diversos espacios físicos (Oficina del Gabinete, 2020). Se afirma que serán algoritmos de inteligencia artificial los que procesen el *big data* generado, al tiempo que se prevé que las personas puedan obtener retroalimentación de esta información, abonando así a la resolución de problemas sociales (Gobierno de Japón, 2019). La propuesta en general es establecer una interconexión entre personas, cosas y sistemas, característica fundamental de la I4.0, para potencializar las capacidades humanas y del espacio mismo (Oficina del Gabinete, 2020).

A pesar de la orientación del programa que sigue siendo el desarrollo económico e industrial que este plan pudiera tener, se rescata el establecimiento de objetivos puntuales en lo que respecta a problemas de carácter social. De acuerdo con el Gobierno japonés, se espera que la implementación del plan Sociedad 5.0 contribuya no solo al desarrollo económico, sino también a la reducción de brechas de desigualdad social (Oficina del Gabinete, 2020). La tecnologización de la industria y el uso de sensores en los servicios y el espacio públicos adaptarán el entorno físico a uno ciberfísico que será capaz de ajustar la implementación de políticas públicas y resolver problemas sociales de manera más eficiente.

Si bien los objetivos del primer proyecto coincidían con el resto de los programas revisados al considerar únicamente el fortalecimiento de la industria y la revitalización de ella, con el plan Sociedad 5.0 el Gobierno japonés está adoptando la estructura de tecnologías de la I4.0 a la función estatal, es decir, a que el propio Estado funcione a partir de tecnologías disruptivas como el *big data*, la IoT y la inteligencia artificial. El Gobierno de Japón sostiene que es la sociedad y las personas los que están en el centro de este programa de innovación y profunda tecnologización. Sin embargo, el programa no prevé

herramientas concernientes al factor educativo o de empleo en una sociedad orientada hacia la adquisición y el procesamiento de grandes volúmenes de datos, aunque supone una disminución en la población, pero con personas más inteligentes (Gobierno de Japón, 2019).

México

Los objetivos de los lineamientos propuestos en la Ruta para la Industria 4.0 en México eran el fomento a la innovación industrial y el fortalecimiento en la dinámica de innovación del país; una de las estrategias consideradas fue la creación de consorcios o clústeres empresariales afines a las actividades económicas regionales, específicamente las referidas a las industrias automotriz, aeroespacial y química (Amaro Rosales y Ortiz-Espinoza, 2023; SE, 2016b). El proyecto plantea siete aspectos que definirían a la I4.0: *big data*, IA, IoT, simulación de procesos, ciberseguridad, robótica y realidad aumentada (Amaro Rosales y Ortiz-Espinoza, 2023; SE, 2016b). Además, supone la creación de los llamados Centros de Innovación Industrial (CII), a la par del financiamiento de proyectos específicos que podían asignarse a cualquier persona, física o moral, debidamente constituida (SE, 2016b).

Del mismo modo, en 2018 se planteó la presentación de la Plataforma Industria 4.0 y se preveía la implementación de un Consejo Consultivo de la Industria 4.0 en México, el cual estaría integrado por una comisión de presidencia, el sector académico y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, ahora CONAHCYT); su objetivo sería definir acciones orientadas al aprovechamiento de las tecnologías disruptivas de la I4.0, pero la propuesta no se consolidó una vez ocurrido el cambio en la administración federal: si bien el Consejo Consultivo fue constituido, sus labores no prosiguieron más allá del cambio de gobierno (Forbes, 2018).

Otra de las estrategias planteadas por la administración federal previa para el impulso al desarrollo de la Industria 4.0 y que posteriormente se incluyó para sus objetivos, fue la reestructuración del Programa para el Desarrollo de la Industria de Software y la Innovación (Prosoft), existente desde 2004; en 2016 ya se enmarcaba en los esfuerzos para desarrollar la industria 4.0: Prosoft 3.0 (SE, 2016a).

Es de mencionar el resalte que se hace al componente educativo en el programa, mediante la promoción a carreras afines al desarrollo de la I4.0 como: ciencias de la computación, mecánica, electrónica, automatización, física, matemáticas, sistemas industriales y de tecnologías de información, gestión de procesos, IoT y *big data* (SE, 2016a). Del mismo modo, se planteaba la vinculación de la industria y la

academia a formar ingenieros y técnicos en las áreas mencionadas anteriormente, a la par de la creación de una incubadora de alta tecnología para la creación de negocios sustentados en internet (SE, 2016a).

El plan establecía una ruta de acción de 2016 a 2030. Su meta final, para el periodo 2024-2030, era posicionar a México entre los diez primeros lugares del Índice de Complejidad Económica y entre los cinco países más importantes en plantear soluciones digitales basadas en el análisis de *big data* (Amaro Rosales y Ortiz-Espinoza, 2023; SE, 2016b). Las líneas de acción con las que este proyecto se llevaría a cabo se

fundamentaban en la creación del modelo de clúster, la creación del Instituto Nacional de la Industria 4.0, una de red de innovaciones de la I4.0, la creación de un campus de reproducción de la innovación y un laboratorio de redes (Amaro Rosales y Ortiz-Espinoza, 2023; SE, 2016b). Las tecnologías de enfoque serían: la analítica *big data*, el modelado y la simulación, los robots colaborativos y la creación de un sistema integrado de Industria 4.0 (SE, 2016a). Si bien este proyecto pertenece a planes de la administración anterior, en la actual no se ha encontrado un planteamiento de política pública expresamente orientado al desarrollo de la I4.0 y tecnologías afines.

Tabla 1
Comparación de categorías entre las estrategias analizadas

| | Alemania | Estados Unidos | Japón | México |
|---|--|--|---|--|
| Nombre de la estrategia | Industrie 4.0 | Plan de manufactura inteligente | Sociedad 5.0 | Hoja de ruta para la industria |
| Año de gestación | 2010 | 2011 | 2013 | 2016 |
| Objetivo primario | Incorporación de tecnologías al proceso industrial | Estimular la adopción de tecnologías disruptivas en la industria manufacturera | Revitalización de la industria y fundamentar las relaciones sociales en sistemas ciberfísicos y <i>big data</i> | Fomento a la innovación industrial |
| Principales actores involucrados | Academia Alemana de Ingeniería, Asociación Fraunhofer, Siemens, Ministerio de Educación e Investigación, Ministerio de Economía y Tecnología | Consejo de Consultores de Ciencia y Tecnología de Presidencia, Smart Manufacturing Leadership Coalition, IBM, Cisco, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos, Secretaría de Defensa, Secretaría de Comercio | Gabinete de Gobierno | CONACYT, Secretaría de Economía, sector industrial y empresarial |
| Fuente de financiamiento | Mixta | Mixta | Pública | Público |
| Monto | \$ 36,04 MMDD | \$ 496,00 MMDD | \$ 194,88 MMDD | \$ 44.235 MDD |
| Área principal de impulso | Investigación y desarrollo de <i>software</i> | Internet de las cosas | Sensores Procesamiento de <i>big data</i> por inteligencia artificial | Educación y desarrollo |
| Tecnologías involucradas | IoT, CPS, BD, cloud, RA, MA, IA, ciberseguridad, robótica, ML, simulación | IoT, CPS, BD, cloud, MA, IA, ciberseguridad, robótica, ML, simulación | IoT, CPS, BD, cloud, IA, ciberseguridad, robótica, ML | IoT, RV, BD, ciberseguridad, robótica, ML, simulación |
| Programas derivados, transversales o vinculados | Estrategia de alta tecnología | Plan para el desarrollo de la manufactura avanzada | Future Vision 2030 | Prosoft |

Fuente: elaboración propia.

Discusión y principales hallazgos

En los apartados anteriores se revisó a grandes rasgos el diseño de las estrategias de política pública establecidas por los cuatro países con el fin de desarrollar la I4.0. En este sentido, de acuerdo con el conocido ciclo de políticas públicas, se asume que para su diseño es preciso reconocer cuál es el problema público que se está abordando. Así pues, el problema que aparece como detonador de los programas sobre I4.0 es la potencial falta de competitividad industrial de los países en un entorno cada vez más tecnológico.

A partir de este punto, resulta claro que los objetivos fundamentales o primarios de estas propuestas hacen referencia al incremento en la productividad de las empresas manufactureras por medio de la capacidad tecnológica de ellas. El objetivo original en las cuatro estrategias revisadas estaba vinculado al incremento de la competitividad industrial y dicho objetivo permaneció inmutable en tres de los cuatro planes estudiados. El caso de Japón es destacable, ya que dos años después de la estrategia original, modificó su objetivo vinculando los objetivos de la política industrial con la política social.

Del mismo modo, los casos revisados apuntan hacia el uso de la tecnología en los procesos de manufactura, principalmente en pequeñas y medianas empresas. Aunado a esto, otro factor importante ha sido el componente educativo considerado en las políticas de Estados Unidos y México, a diferencia de la planteada por el Gobierno alemán que se enfocó en la investigación y el desarrollo, mas no tanto en la creación y el mantenimiento de talento. Situación similar ocurre en el plan japonés que aboga por la creación de un mercado que refleje las necesidades sociales conociéndolas a través de la gestión de información; los esfuerzos de Japón se orientan a la adquisición de datos y lo que se puede hacer con su procesamiento.

Por su parte, los actores involucrados son relativamente similares en cada uno de los casos. En los planes alemán y estadounidense, se ve un gran abanico de participantes que intervienen en profundidad en el diseño de las propuestas. En el primer caso, el componente de agencias de expertos en áreas específicas es fundamental y retrata la intención de fortalecer la parte material de la ecuación, es decir, la maquinaria y el *software*. En el caso de Estados Unidos, es notoria la gran influencia de la iniciativa privada, particularmente de IBM y Cisco, que, como se vio en el primer apartado de este texto, dominan el mercado de varias de las tecnologías disruptivas que componen a la I4.0. En los planes presentados por los Gobiernos mexicano y japonés, por mucho el principal actor involucrado es el Estado representado por medio de sus distintas instancias y organizaciones. A pesar de que el Gobierno mexicano considera la incorporación de distintos sectores sociales como la academia y las empresas con la figura del Consejo Consultivo I4.0, los esfuerzos propuestos aparecen en organismos gubernamentales.

Son notables las diferencias entre los casos revisados en lo relacionado con los presupuestos estimados para el despliegue de la I4.0 tanto en lo referente al origen mismo de los fondos como en los montos destinados para los objetivos previstos. En lo tocante al origen de los fondos, tanto para Alemania como para Estados Unidos, los recursos destinados a los programas revisados provenían de fuentes mixtas, esto es, de recursos públicos y privados de distintos organismos. Por su parte, en los casos de Japón y México, la responsabilidad financiera recae principalmente en el Estado, aun cuando en el segundo caso sí queda explícita la vinculación con otro tipo de actores. Por otro lado, la diferencia en cuanto a montos es muy dispar entre cada uno de los casos estudiados. Tan solo la inversión hecha por Estados Unidos casi duplica la suma de los montos destinados para I4.0 en los otros cuatro países.

En algunos casos, parte del presupuesto asignado incorporó programas transversales, como ocurre en Alemania, en donde el tema de la I4.0 se incorpora en la Estrategia Alemana de Alta Tecnología. Una situación similar ocurre en México que incorporó el programa Prosoft a los objetivos del plan de ruta para la I4.0; sin embargo, este programa desapareció con el cambio de administración. Prosoft tuvo un presupuesto aprobado de 751 millones de pesos entre 2018 y 2020, aproximadamente 37 millones de dólares (CEFP, 2018, 2019, 2020). Cabe señalar que para el ejercicio fiscal de 2021 se tenía considerado un presupuesto deseable para el programa de 180 millones de pesos, sin embargo, este no fue aprobado (CEFP, 2021).

Como se mencionó en un inicio, una de las características fundamentales de la I4.0 es la conectividad entre personas, objetos y ambiente. En este sentido, destacan el IoT y el *big data* como áreas prioritarias. En el caso de Estados Unidos, el eje que da forma a la estrategia planteada es el incremento de la conectividad entre objetos. Del mismo modo, Japón concentra sus esfuerzos en la disposición de sensores que generen *big data* para ser procesados por inteligencia artificial a fin de eficientizar la cadena de valor y resolver problemas sociales; el país asiático también supone el fortalecimiento de los sistemas ciberfísicos como parte central del plan Sociedad 5.0. En los casos alemán y mexicano, el componente de investigación y desarrollo de proyectos está presente, aunque el foco es distinto: el primero explícita su interés en fortalecer la generación de *software*, mientras que el segundo, pese a que es el nombre del principal programa de financiamiento, no hace énfasis en un tipo de tecnología en particular.

En cuanto a los resultados esperados de las estrategias revisadas, estos se resumen en el aumento de la competitividad entre empresas y de sus países en el mercado global. No obstante, en el caso de Japón, uno de los resultados esperados del plan Sociedad 5.0 es alcanzar un equilibrio entre el crecimiento y los beneficios sociales, es decir, que el uso de las tecnologías disruptivas de la I4.0 no solo incremente la ganancia de las empresas e industrias, sino que también contribuya a disminuir la diferenciación social por medio de un procesamiento mejorado de análisis de *big data* (Oficina del Gabinete, 2020), lo cual marca la diferencia más notoria en comparación con el resto de las estrategias de política revisada.

Reflexiones finales

El presente texto hace un primer acercamiento a la revisión de las estrategias de política pública implementadas para el fortalecimiento de la I4.0. Su objetivo ha sido exponer algunas diferencias y similitudes en cuanto a las acciones de política pública

que han seguido los gobiernos para respaldar este tipo de industria caracterizada por la alta conectividad entre personas, cosas y el entorno, así como el procesamiento de grandes cúmulos de información que permitan una mayor adaptación de las empresas e industrias ante los cambios en los mercados (Eslava, 2021).

Se ha dicho que la intervención responde a la concientización de un problema público, es decir, cuando un asunto de interés se generaliza y entra en la agenda gubernamental. En este sentido, es notorio que el problema detectado para la generación de los cuatro distintos planes revisados fue la necesidad de incrementar la competitividad de las empresas a consecuencia de los desafíos que implica la aparición y el uso generalizado de las tecnologías disruptivas. En esta misma línea, el objetivo principal de las políticas públicas revisadas fue aumentar la productividad por medio de la utilización generalizada de este tipo de tecnologías y de esta forma propiciar condiciones favorables para incrementar la competitividad entre las empresas de los países, como de estos en el contexto internacional.

En la mayoría de los casos revisados, la política pública se enfoca únicamente en la parte técnica del tema, es decir, se dejan de lado las repercusiones sociales, riesgos al medioambiente o legislaciones laborales, ámbitos que se verían afectados de manera directa por los nuevos procesos de producción. Si bien el plan japonés plantea en sus objetivos la disminución de las brechas de desigualdad social, el propósito principal del programa sigue siendo el aumento de la productividad y el ingreso económico.

Sin embargo, aunque la política del Japón pareciera más cercana a una política social que a una política industrial, las principales estrategias para llevar a cabo estos objetivos radican en el incremento de la productividad, el fortalecimiento de las leyes, la regulación económica, generar oportunidades de inversión e incrementar la competitividad de los negocios (Gobierno de Japón, 2019). Es decir, a pesar de la intención social del programa japonés, los beneficios obtenidos de él se traducen en un beneficio para las empresas y las industrias.

Por otra parte, es destacable que en el diseño de los planes originales en pro de la I4.0, no se consideró en sus líneas de acción el componente de la conectividad, el cual, como se ha dicho, es fundamental para el desarrollo de este tipo de industria. En este sentido, las llamadas redes de quinta generación suponen el componente faltante para que alcance el potencial que promete la I4.0. En oposición, los debates sobre el despliegue de las 5G, tema que se abordará en futuras investigaciones, tienen como uno de sus ejes

prioritarios su uso industrial y su potencial aplicación en la I4.0.

Agradecimientos

CONAHCYT Ciencia de Frontera 2019 n.º 304320, una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México, apoyado por el Fondo FORDECYT-Pronaces.

Referencias

- Acatech. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.
https://www.academia.edu/36867338/Securing_the_future_of_German_manufacturing_industry_Recommendations_for_implementing_the_strategic_initiative_INDUSTRIE_4_0_Final_report_of_the_Industrie_4_0_Working_Group
- Amaro Rosales, M. A. y Ortiz-Espinoza, Á. (2023). Planes y programas públicos para el fomento de la Industria 4.0 en México. Las experiencias de Guanajuato y Nuevo León. *Entretextos*, 15(39), 1-17.
<https://doi.org/10.59057/iberoleon.20075316.202339675>
- Basir, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A. y Gidlund, M. (2019). Fog computing enabling industrial internet of things: state-of-the-art and research challenges. *Sensors*, 19(21), 4807.
<https://doi.org/10.3390/s19214807>
- Casalet, M. (2018). *La digitalización industrial. Un camino hacia la gobernanza colaborativa*. Cepal.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44266/1/S1800941_es.pdf
- CEFP. (2018, abril 13). *Programas Prioritarios 2018-2019*.
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2018/notacefp0122018.pdf>
- CEFP. (2019, abril 30). *Programas Prioritarios 2019-2020*.
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2019/notacefp0222019.pdf>
- CEFP. (2020, abril 21). *Programas Prioritarios 2020-2021*.
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2020/notacefp0282020.pdf>
- CEFP. (2021, abril 6). *Programas prioritarios Pre-Criterios 2021-2022*.
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/informafias/2021/daip/infdaip0282021.pdf>

- Cimoli, M., Dosi, G. y Stiglitz, J. E. (eds.). (2009). *Industrial policy and development: the political economy of capabilities accumulation*. Oxford University Press. <https://academic.oup.com/book/32519>
- Comisión Europea. (2018, febrero). *Case study report. The German high-tech strategy*. https://jiip.eu/mop/wp/wp-content/uploads/2018/09/DE_High-Tech-Strategy_Unger.pdf
- Downs, A. (1993). El ciclo de atención a los problemas sociales. Los altibajos de la ecología. En L. F. Aguilar Villanueva, *Problemas públicos y agenda de gobierno, México* (pp. 137-156). Miguel Ángel Porrúa.
- Eslava, S. (2021, octubre 21). *Transformación digital de las industrias* [Video YouTube]. Congreso CLTD. <https://www.youtube.com/watch?v=ygnTfWIXoT5Q>
- European Regional Development Fund. (2020). *Definition of I4.0 Public Policy Initiatives*. https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1606752330.pdf
- Foladori, G. y Ortiz-Espinoza, Á. (2021). El otro alcance de la 5G. *Observatorio del Desarrollo. Investigación, Reflexión y Análisis*, 10, 81-84. <https://doi.org/10.35533/od.1028.gf.aoc>
- Fontaine, G. (2022, mayo 27). *Multimethods for policy analysis*.
- Forbes. (2018, septiembre 7). Gobierno alista la Plataforma de Industria 4.0 MX. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/gobierno-alista-la-plataforma-de-industria-4-0-mx/>
- Ford, M. (2016). *El auge de los robots*. Paidós. Electrónico.
- Gobierno de Japón. (2019, enero). *ABENOMICS. For future growth, for future generations, and for a future Japan*. <https://japantrade.org/abenomics-for-future-growth-for-future-generations-and-for-a-future-japan/>
- Gobierno de Japón. (2021, septiembre 28). *Realizing society 5.0*. https://www.japan.go.jp/abenomics/_userdata/abenomics/pdf/society_5.0.pdf
- Knutov, A. y Styryn, E. (2020). Use of the internet of things in public governance for law enforcement and inspection: the case of Russia. En *Beyond smart and connected governments. Sensors and the internet of things in the public sector*. Springer.
- Kuo, C.-C., Shyu, J. Z. y Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0 - A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global Transitions*, 1, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>
- Micheli Thirion, J. (2022). Fuerzas productivas en la digitalización: el contexto y estructura de la Industria 4.0. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 23-36). UNAM - PyV Editores.
- Nosalska, K., Piątek, Z., Mazurek, G. y Rządca, R. (2019). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 837-862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- Oficina del Gabinete. (2020, febrero 19). *Society 5.0*. https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html
- Ortiz-Espinoza, A. (2022). Desafíos para la medición de la Industria 4.0: una comparación de índices. *Observatorio del Desarrollo*, 11(32), 64-68. <https://doi.org/10.35533/od.1132.aoc>
- Oztemel, E. y Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Porter, M. E. y Heppelmann, J. E. (2014, noviembre 1.º). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
- Qureshi, Z. (2017). *Tecnología avanzada, pero crecimiento más lento y desigual: paradojas y políticas*.
- Rothwell, R. y Zegveld, W. (1981). *Industrial innovation and public policy: preparing for the 1980s and the 1990s*.
- Ruiz, A. (2021). *Los factores externos de la política pública, un análisis comparado desde el establecimiento de la agenda*. Flacso.
- Schütze, A., Helwig, N. y Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 - smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 359-371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*. Debate.
- SE. (2016a, abril). *Crafting the future. A roadmap for Industry 4.0 in Mexico*. <https://amiti.org.mx/wp-content/uploads/2018/01/Crafting-the-future-10-agosto-2016.pdf>

- SE. (2016b, mayo 23). *Programa para el Desarrollo de la Industria de Software y la Innovación PROSOFT*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/490934/PROSOFT_VF.pdf
- Soltovski, R., Resende, L. M. M. de, Pontes, J., Yoshino, R. T. y Silva, L. B. P. da. (2020). Um estudo quantitativo sobre os riscos da Indústria 4.0 no contexto industrial: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, 17(3), Article 3. <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i3.2245>
- Volpe Rodrigues, T., dos Santos Filho, V. H., Pontes, J., Martins de Resende, L. M. y Tadashi Yoshino, R. (2020). Government initiatives 4.0: a comparison between industrial innovation policies for Industry 4.0. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, 18(1), 119-147. <https://doi.org/10.25112/rgd.v18i1.2411>
- Yang, H., Kim, S. Y. y Yim, S. (2019). A case study of the Korean government's preparation for the fourth industrial revolution: public program to support business model innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/joitmc5020035>