

Desafíos para la medición de la Industria 4.0:

una comparación de índices

Challenges in the assessment of Industry 4.0: a comparison of indices

ÁNGELES ORTIZ-ESPINOZA

Mexicana. Doctoranda, Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacatecas. Correo-e: angeles.ortiz.espinoza@uaz.edu.mx

La Industria 4.0 se define por la interacción de tecnologías disruptivas cuyo fin es la automatización de procesos a través de la comunicación entre dispositivos, lo que genera una alta flexibilidad y anticipación en cuanto al comportamiento del mercado. A fin de conocer el grado de madurez de este tipo de industria se han generado algunos índices que miden su desarrollo. El objetivo de este texto es analizar algunos de ellos con la intención de identificar sus alcances y limitaciones.

Palabras clave: Industria 4.0, indicadores de medición, política de desarrollo productivo.

Industry 4.0 is defined as the interaction of disruptive technologies with the goal of automating processes through inter-device communication, which creates a high degree of flexibility and foresight with regard to market behavior. Intending to grasp the degree of maturity of this kind of industry, several indices have been created to measure their development. The goal of this article is to analyze some of these indices with the intent to identify their reach and limitations.

Keywords: Industry 4.0, measurement indicators, productive development policy.

Introducción

La llamada Industria 4.0 (Ind. 4.0) es el tipo de industria vinculada al desarrollo de la cuarta revolución Industrial; el interés por la misma se manifiesta en que la política industrial de varios países se ha focalizado en impulsar su desarrollo. De acuerdo a varios autores, los objetivos principales de este tipo de industria son la completa automatización de procesos, una alta flexibilidad y anticipación en cuanto al comportamiento de productores y consumidores.¹ Aunado a lo anterior, la Ind. 4.0 se define por el uso y la interacción del conjunto de tecnologías disruptivas que la conforman. En este sentido, se han generado algunos

índices que proponen ciertos indicadores y variables para medir su desarrollo. A través de una revisión bibliográfica y documental, el presente texto tiene por objetivo hacer un análisis exploratorio de algunos de estos índices a fin de identificar sus alcances y limitaciones.

Además de esta introducción, el presente texto se divide en tres partes. Primero, se hace un acercamiento a la definición de lo que se ha entendido por Ind. 4.0 a través de una breve descripción de los principales elementos que la componen desde la perspectiva técnica y de negocios, y la de política pública. En seguida, son expuestos algunos de los principales índices que se han propuesto para medir el desarrollo de la Ind. 4.0 para dar paso a algunas reflexiones finales. Por cuestiones de espacio no se ahonda en la

¹ Sandra Eslava, «Transformación digital de las industrias [Keynote]», Congreso CLTD, 21 de octubre de 2021.

construcción de los índices propuestos, únicamente se exploran sus principales aportes y limitaciones.

Componentes de la Industria 4.0

El elemento técnico: tecnologías disruptivas

La noción más técnica de la Ind. 4.0 se conceptualiza a partir de dos componentes. Por un lado, el componente tecnológico, el cual refiere al uso de sistemas ciberfísicos, a la concepción de una fábrica inteligente, es decir, una fábrica conectada cuyos aparatos sean capaces de tomar decisiones por medio de inteligencia artificial, y a la capacidad de comunicación entre objetos.² Por su parte, el componente de negocios supone 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 nuevos modelos de negocios como la *economía colaborativa* o *sharing economy*,³ y la preeminencia de los productos inteligentes con una alta capacidad de personalización.⁴

La Ind. 4.0 se basa en el uso de alta tecnología y conectividad, lo que no sólo aumenta el volumen, sino la capacidad de diversificar productos e incrementa la cantidad de datos disponibles. La conexión entre humanos, objetos y sistemas en tiempo real permite una mayor flexibilidad en la cadena de valor, una toma de decisiones más descentralizada y una mayor autonomía del sistema de producción, el cual tiene una mayor capacidad de adaptación ante los cambios del mercado.⁵ Sin embargo, para que la Ind. 4.0 pueda potencializar estos objetivos son necesarios dos tipos de infraestructura que permitan el flujo constante de datos: nanosensores cada vez más pequeños, multifuncionales y con mayor capacidad de transmisión de información; y una red de interconexión que comparta esta última característica, promesa que pretende cumplir la quinta generación de conexiones inalámbricas (5G).

Big data, internet de las cosas (IoT), cómputo en la nube, *machine to machine* (M2M), aprendizaje automático, impresión 3D y sistemas ciberfísicos, son algunas de las tecnologías cuya confluencia define a la Ind. 4.0 en buena parte de la literatura sobre el tema.⁶ Dichas

tecnologías implican la posibilidad de una integración de las personas con objetos, equipos, maquinaria, construcción e incluso el medio ambiente;⁷ las interconexiones de las tecnologías implicadas en la Ind. 4.0 no sólo funcionan a través de la fusión entre lo físico y lo digital, sino también integran lo biológico,⁸ pero el concepto sigue implicando la parte material de las relaciones productivas, aunque inevitablemente deriva en cambios sociales y estructurales.

Es importante mencionar que el término Industria 4.0 se asocia a una nueva revolución tecnológica caracterizada por la interrelación de estas tecnologías, cuyos principales elementos son: la conectividad global, los sistemas ciberfísicos y la inteligencia artificial; la combinación de estas características permite entender la novedad que conllevan. Si bien los cambios tecnológicos previos se conducían sobre innovaciones en el proceso y los sistemas de manufactura, la Ind. 4.0 se distingue porque se conduce en torno a un ambiente inteligente e interconectado: la cuarta revolución industrial está dada por la conectividad.⁹

Industria 4.0 como política pública

Como es resultado de la unión de diferentes tecnologías, algunos autores sugieren que al hablar de Ind. 4.0 nos referimos a un concepto más político que técnico¹⁰ y hacen alusión a que el término surge a partir de la Estrategia de Alta Tecnología 2020 del gobierno alemán para impulsar la digitalización y la fábrica inteligente en diversos sectores, la cual fue presentada en la Feria de Hannover de 2011.¹¹ El impacto ideológico y político de lanzar un nuevo

² Katarzyna Nosalska *et al.*, «Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies», *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 33, núm. 5, 2019, pp. 837-862.

³ El término se refiere a las compañías, mayormente de servicios, basadas en transacciones en línea y que se caracterizan por tener escasa o nula infraestructura material; sus trabajadores ponen a disposición de la empresa sus bienes: sus autos en Uber o sus casas en Airbnb.

⁴ *Idem.*

⁵ Sandra Eslava, *op. cit.*; Y. Yin, K. E. Stecke y D. Li, «The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0», *International Journal of Production Research*, vol. 56, núm. 1-2, 2018, pp. 848-861.

⁶ Katarzyna Nosalska *et al.*, *op. cit.*; E. Oztemel y S. Gursev, «Literature review of Industry 4.0 and related technologies», *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 31, núm. 1, 2020, pp. 127-182.

⁷ Rabeea Basir *et al.*, «Fog computing enabling industrial internet of things: state-of-the-art and research challenges», *Sensors*, vol. 19, núm. 21, 2019.

⁸ Klaus Schwab, *La cuarta revolución industrial*, España, Debate, 2017.

⁹ European Regional Development Fund (ERDF), *Definition of Ind. 4.0 public policy initiatives*, Lisboa, ERDF, 2020.

¹⁰ Andreas Schütze, Nikolai Helwig y Tizian Schneider, «Sensors 4.0. Smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0», *Journal of Sensors and Sensor Systems*, vol. 7, núm. 1, pp. 359-371, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>

¹¹ Acatech, *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, Alemania, Acatech, 2013; Mónica Casalet, *La digitalización industrial. Un camino hacia la gobernanza colaborativa*, Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018.

término para sugerir el peso de la ciencia y la tecnología en el desarrollo no puede descartarse.

Desde la creación del término se explora la relación de las políticas gubernamentales con la evolución de las innovaciones que intervienen en la Ind. 4.0 en el contexto de una dependencia cada vez mayor hacia los actores que ofrecen conectividad. Además, las propias empresas no pueden determinar ni las reglas ni planes de acción para perseguir la acción innovativa en su conjunto,¹² ni tampoco determinar cómo se hará un despliegue generalizado de insumos para la industria y la innovación, como es el caso de la 5G: las innovaciones son mayormente manejadas hacia la búsqueda del desarrollo nacional de ciencia y tecnología.¹³ Algunos autores han mencionado la necesidad de establecer políticas públicas que propicien el desarrollo en ciencia, tecnología e innovación, pero que también estén orientadas al desarrollo y la competitividad industrial.¹⁴

Algunos ejemplos de políticas gubernamentales que han promovido la innovación para el impulso de la Ind. 4.0 son los casos de Estados

¹² Heyoung Yang, Su Youn Kim y Seongmin Yim, «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*, vol. 5, núm. 2, 2019, pp. 2-18.

¹³ *Idem*.

¹⁴ Chu-Chi Kuo, Joseph Z. Shyu y Kun Ding, «Industrial revitalization via industry 4.0. A comparative policy analysis among China, Germany and the USA», *Global Transitions*, vol. 1, 2019, pp. 3-14; Zia Qureshi, *Tecnología avanzada, pero crecimiento más lento y desigual: paradojas y política*, México, OpenMind, 2017.

Unidos, Japón y Alemania, países que han formulado programas de política orientados a fortalecer el componente tecnológico en la industria, principalmente en lo que toca al sector manufacturero y a las cadenas de suministros.¹⁵ Cabe señalar que en México se tenían prospectadas líneas de acción similares, sin embargo, éstas no tuvieron seguimiento en la administración federal actual.

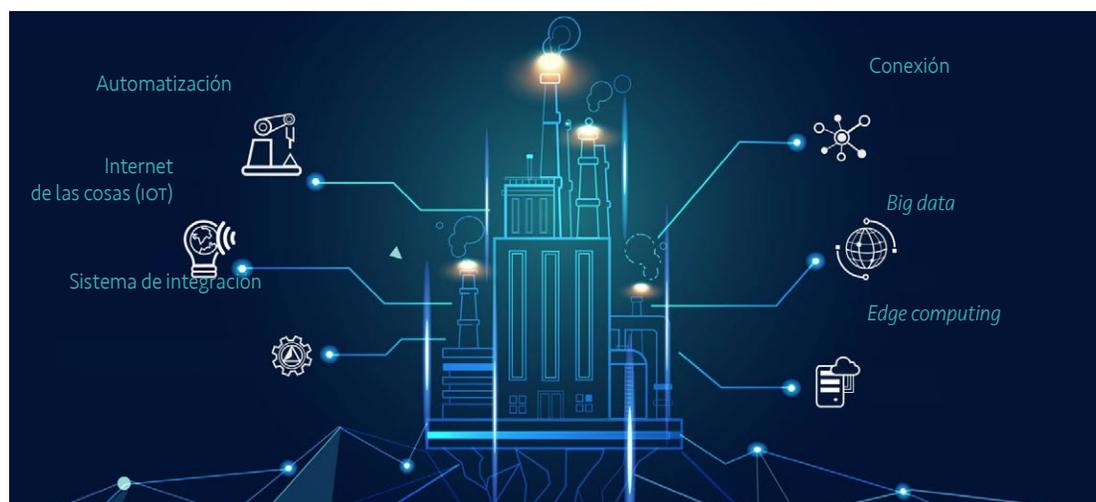
Midiendo la Industria 4.0

De manera muy breve se han expuesto los principales componentes que definen a la Ind. 4.0, mismos que habrían de considerarse en las métricas que pretenden dar seguimiento a su avance. En este sentido, se han revisado diversos índices que se proponen observar el desarrollo de la Ind. 4.0, la mayoría de los cuales únicamente consideran el componente técnico, mientras que otros van hasta los efectos sociales y políticos que su puesta en marcha provoca.

Al respecto, Acatech, organismo que intervino en la formulación de la estrategia alemana para el desarrollo de la Ind. 4.0, generó una matriz para estimar el grado de madurez de la Ind. 4.0. Toma como base la digitalización y la computarización de procesos, las cuales no son propiamente componentes de la Ind. 4.0, pero sí son la etapa básica para que ésta pueda desarrollarse. Divide la matriz en cuatro

¹⁵ Thales Rodrigues, Vitor Hugo dos Santos Filho, Joseane Pontes y Luis Mauricio Martins de Resende «Government Initiatives 4.0: a comparison between industrial innovation policies for Industry 4.0», *Gestao e Desenvolvimento*, vol. 18, núm. 1, 2020, pp. 119-147.

Desde la creación del término, se explora la relación de las políticas gubernamentales con la evolución de las innovaciones que intervienen en la Industria 4.0 en el contexto de una dependencia cada vez mayor hacia los actores que ofrecen conectividad. Las innovaciones son mayormente manejadas hacia la búsqueda del desarrollo nacional de ciencia y tecnología.



componentes: cultural, organizacional, de recursos y sistemas de información; propone una serie de elementos observables para definir cada uno de éstos. Sin embargo, esta matriz está dirigida a las propias empresas a fin de que éstas puedan autoevaluar su propio desempeño.¹⁶

Por su parte, la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés), tiene una estandarización voluntaria sobre los sistemas de automatización integral y algunos indicadores clave aplicables a la manufactura (ISO 22400), así como un estándar relacionado a elementos de responsabilidad social (ISO 2600).¹⁷ Žižek *et al.*¹⁸ retoman los indicadores de ambos estándares y proponen una estandarización para la Ind. 4.0 que considera tanto factores de productividad industrial, como elementos relacionados a la responsabilidad social. Al igual que el caso anterior, este tipo de medición está orientada a la empresa en lo particular y no mide un desarrollo de la Ind. 4.0 en su conjunto.

Ciertamente existen otros índices e indicadores que buscan una medición más global o generalizada de un sector en específico. A este respecto, el objetivo nueve de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se ha denominado Industria, Innovación e Infraestructura y supone el crecimiento del sector manufacturero de una manera inclusiva y sustentable, sostenido en la innovación e infraestructura tecnológicas.¹⁹ El seguimiento de los ODS se da mediante una serie de metas que se traducen en indicadores establecidos; en lo que toca al objetivo nueve, la mayoría de éstos están vinculados al crecimiento industrial en sí, sin hacer referencia a la Ind. 4.0. No obstante, este ODS considera dos metas relacionadas con el desempeño tecnológico: apoyar e incentivar el desarrollo tecnológico y la innovación, e incrementar el acceso a la tecnología, especialmente el acceso universal a internet para el año 2030.²⁰ Dichas metas se traducen en dos indicadores: la proporción del valor añadido por la industria tecnológica al valor añadido total, y la proporción de la población con acceso a redes móviles desglosando el tipo de tecnología que usan.²¹ Estos dos indicadores resultan insuficientes para medir un avance en el desarrollo de la Ind. 4.0, pues el primero ni siquiera toma en cuenta el valor añadido por la tecnología a las industrias no tecnológicas, y el segundo porque no tiene una relación directa con la producción industrial.

¹⁶ Acatech, *Industrie 4.0 maturity index*, Alemania, Acatech, 2017.

¹⁷ Simona Šarotar Žižek, Zlatko Nedelko, Matjaž Mulej y Živa Veingerl Čič, «Key performance indicators and Industry 4.0. A socially responsible perspective», *Naše Gospodarstvo. Our Economy*, núm. 66, 2020, pp. 22-35.

¹⁸ *Idem.*

¹⁹ Organización de las Naciones Unidas (ONU), «Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación», *Desarrollo Sostenible*, ONU, en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

²⁰ *Idem.*

²¹ Organización de las Naciones Unidas, *Anexo. Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, Ginebra, ONU, 2018.

Los índices e indicadores anteriores tienen en común que vienen desde organismos internacionales vinculados en forma más cercana a la idea de la Ind. 4.0 desde la perspectiva gubernamental. Ocampo *et al.*²² hacen una propuesta de indicadores a partir del análisis profundo de artículos académicos. Los autores rescatan los principales indicadores para observar el desarrollo de la Ind. 4.0 en un sentido amplio, es decir, considerando no sólo la parte técnica, sino también la perspectiva referente a una parte de la adecuación de políticas públicas y los procesos productivos y resaltan cuatro grandes componentes: a) el tecnológico, el cual mide el desempeño considerando la capacidad tecnológica y de innovación; b) el organizacional, que contempla la afectación de la tecnología disruptiva en la toma de decisiones y procesos organizacionales dentro de la empresa; c) el interorganizacional, cuyos componentes están relacionados a la localización geográfica (por ejemplo, proximidad física con consumidores y proveedores, logística de costos, acceso al mercado laboral), así como elementos vinculados al grado de competitividad de la empresa; y d) el factor social y de regulación referido a la interacción de la empresa con factores del entorno que son ajenas a la organización.²³

Con relación a la política pública, es interesante que la categoría *social y de regulación* planteada por los autores toma en consideración un indicador relacionado al apoyo gubernamental para el mantenimiento y crecimiento de la Ind. 4.0, el cual se divide en tres factores: el mandato, el apoyo técnico y la exención de impuestos, los cuales fungirían como incentivos que favorecen la adopción de tecnologías disruptivas para la industria.²⁴

Al ser un concepto tan amplio el principal problema de hacer indicadores e índices que midan el desarrollo de la Ind. 4.0 conllevaría la incorporación de varios componentes como el técnico, el productivo, el de regulación y el de entorno político.

²² Lanndon Ocampo *et al.*, «Industry 4.0 indicators and their roles in strategy formulation», *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, vol. 20, núm. 3, 2021, pp. 631-662.

²³ *Idem.*

²⁴ *Idem.*

El conjunto de indicadores propuesto por Ocampo *et al.* resulta conveniente, pues analiza los aspectos mencionados. No obstante, queda en duda la pertinencia del componente geográfico, pues este tipo de industria tiene la tendencia a reducir las afectaciones de las distancias al centrarse en sistemas hiperconectados y la relación máquina a máquina. Además, los componentes organizacionales son indicadores que miden el grado de avance de una empresa, mas no de la industria desde una perspectiva general o sectorial. La revisión hecha por Ocampo señala la prevalencia de indicadores enfocados en la medición de eficiencia empresarial. Llama la atención que la sistematización propuesta por los autores se obtiene a partir de una amplia revisión de bibliografía, lo cual sustenta lo mencionado con respecto a la prevalencia de la noción técnica del concepto por encima de aquella que contempla factores propios de política pública.

Una aproximación más cercana a un índice global para medir el desarrollo de la Ind. 4.0 lo realizan Hejduková *et al.*²⁵ basados en la estrategia de la Unión Europea para el impulso a este tipo de industria. Los autores mencionan algunos indicadores de interés a fin de medir el grado de avance de la Ind. 4.0: porcentaje de participación de la industria en el PIB, porcentaje de empresas que han introducido alguna innovación, porcentaje del sector TIC en el PIB, porcentaje de empresas con servicios en línea, porcentaje de empresas que cuentan con sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) y de gestión de relaciones con los clientes (CRM), porcentaje de empresas que cuentan con impresión 3D y empleados especializados en tecnologías de información y de comunicación (TIC), porcentaje de la población que interactúa de manera digital con el gobierno y porcentaje de empresas que cuenta con análisis *big data*.²⁶

Este último índice propone variables de medición relacionadas con el uso de TIC en la industria y aunque incluye indicadores macroeconómicos

que no consideran los otros índices revisados éstos no se centran en las características propias de la Ind. 4.0, sino que sugieren más una revisión en el acceso digital de las empresas sin considerar el uso de tecnologías disruptivas en las formas de producción y de consumo.

Por otro lado, además de los aquí revisados, es importante mencionar que existen otros índices relacionados que se enfocan en la medición del grado de preparación de las ciudades y del entorno para la implementación de la Ind. 4.0.²⁷ Estos índices se caracterizan por incluir mayormente aspectos regulatorios y gubernamentales, empero, no miden el avance de la Ind. 4.0, sino la capacidad de los centros urbanos para incorporarla a su contexto y dinámica.

Reflexiones finales

Como se ha visto, el enfoque principal de la medición en los índices revisados está orientado a un desarrollo técnico y de eficiencia productiva en la industria; en algunos de casos también se incluyen factores relacionados con el consumo y la orientación al cliente manteniendo la perspectiva de negocios. Del mismo modo, es notoria la carencia de factores vinculados con elementos propios de la Ind. 4.0 y que se diferencien de otros que evalúen aspectos generales de una política industrial no necesariamente vinculada a la tecnolización de la industria. En este sentido, uno de los principales desafíos de la medición del desarrollo de la Ind. 4.0 es recuperar el aporte de la implementación de las tecnologías disruptivas en los procesos de producción en los niveles nacional o estatal y no sólo en lo que toca a las empresas individualmente.

Se ha visto que el alcance principal de los índices aquí expuestos refiere únicamente al desempeño de la industria; los indicadores que se han creado para medir el desarrollo de la Ind. 4.0 lo hacen en el nivel empresarial en función de su productividad y eficiencia como organizaciones. Por lo general, se dejan de lado elementos de política pública y del entorno institucional y gubernamental. Aunado a lo anterior, también resulta notorio que ninguno de los índices revisados incluye aspectos que observen elementos de política que amortigüen los impactos que trae consigo una innovación tecnológica, factor que, si bien no es propio del desarrollo industrial en sí mismo, tiene repercusiones sobre la capacidad de compra y el poder adquisitivo e incluso la estabilidad social, elementos contextuales que tendrían efectos sobre la producción industrial. 

²⁵ Pavlína Hejduková, Lucie Kureková y Michaela Krechovská, «The measurement of Industry 4.0: an empirical cluster analysis for EU countries». *International Journal of Economic Sciences*, vol. 9, núm. 1, 2020, pp. 121-134.

²⁶ *Idem*.

²⁷ G. Nick y F. Pongrácz, «How to measure industry 4.0 readiness of cities», *Industry 4.0*, vol. 1, núm. 2, 2016, pp. 136-140.