

Industria 4.0: ¿una nueva revolución tecnológica?

Estamos viviendo grandes avances en tecnologías que han posibilitado cambios para los procesos de producción y organización a escala global. En este artículo caracterizamos a la industria 4.0 como parte de una nueva fase de hiperconectividad en el mundo, analizamos los argumentos en torno a si estamos presenciando una nueva revolución tecnológica y describimos algunas aplicaciones en el sector industrial.

Introducción

Las economías en el mundo se han ido digitalizando en últimas fechas. Esto ha sido posible gracias a los avances que hay en tecnologías tales como robótica, inteligencia artificial, grandes bases de datos (*big data*), internet de las cosas, impresión 3D, aprendizaje automático (*machine learning*), entre otras. Con ello se ha impulsado una nueva era de automatización a partir de la generación de nuevos productos y nuevas formas de organización, así como la destrucción y la creación de empleos.

En el ámbito industrial y de servicios, el aumento de la digitalización y la **hiperconectividad**, promovido por estas tecnologías habilitadoras, da sustento a la industria 4.0 y está dando paso a nuevos procesos de producción, mediante la automatización de tareas que son altamente rutinarias. Asimismo, se ha posibilitado el análisis de datos y la toma de decisiones en tiempo real, lo que contribuye a la creación de nuevos modelos de negocio, la emergencia de nuevos actores y el desarrollo de nuevas formas de interacción y cooperación entre empresas. Dichos procesos están avanzando de una manera acelerada en las **cadena**s globales de **valor** de la industria automotriz, la industria aeroespacial, la industria electrónica, la industria de los plásticos, entre otras, lo cual incluye a subsidiarias ubicadas en diferentes países. No obstante, los procesos de adopción de estas tecnologías avanzan a diferentes ritmos en los distintos sectores y regiones del mundo.

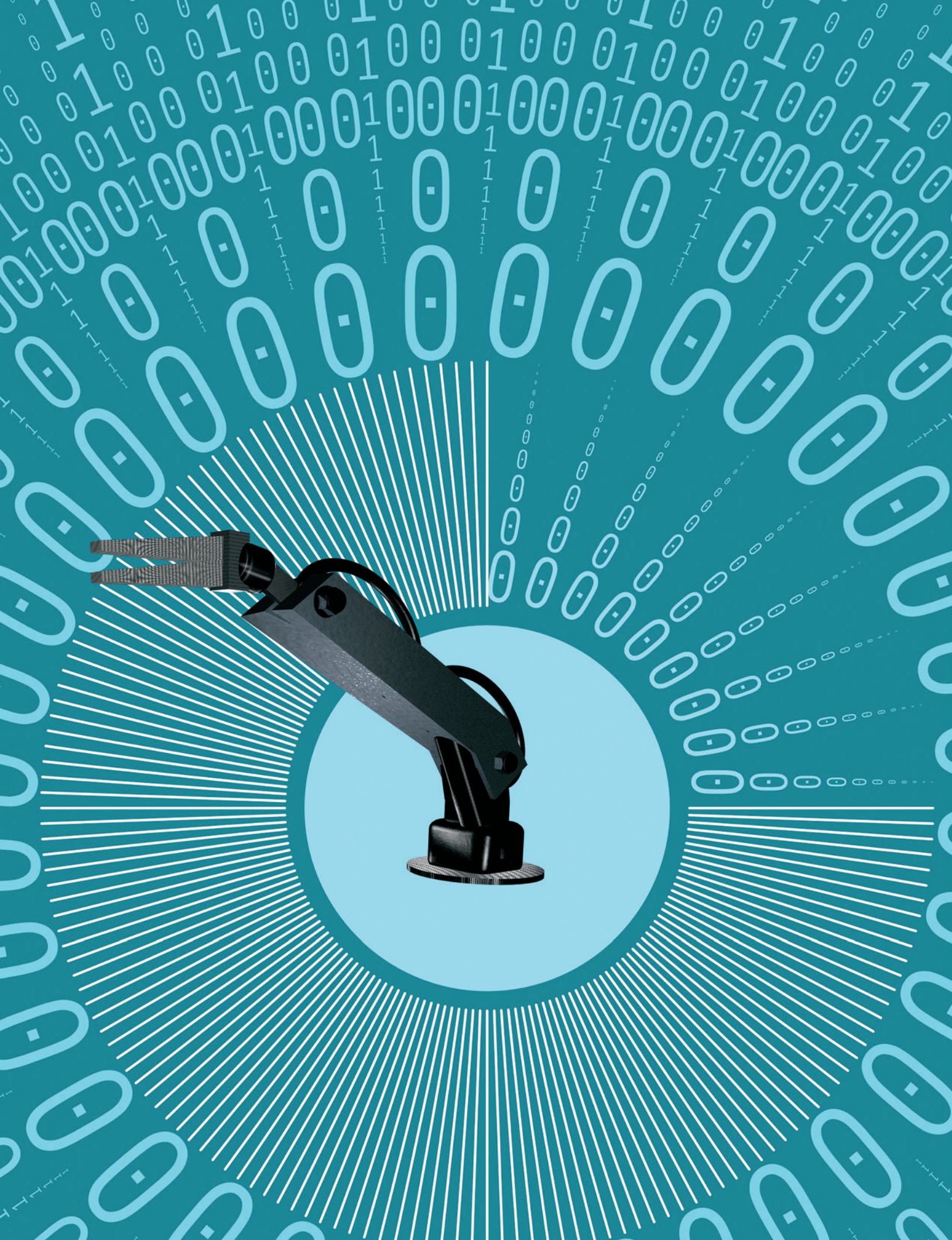
El objetivo de este artículo es caracterizar a la industria 4.0 como parte de una nueva fase de hiperconectividad a escala mundial, analizar los argumentos en torno a si estamos viviendo una nueva revolución tecnológica y describir algunas aplicaciones observadas en el sector industrial.

Hiperconectividad

Alto grado de comunicación, sincronización y coordinación entre distintos dispositivos y medios para conectarse en cualquier momento y lugar.

Cadenas globales de valor

Conjunto de actividades realizadas en diferentes economías que agregan un valor global en la producción de un bien o servicio (ONU, 2020).



Grandes revoluciones tecnológicas

De acuerdo con Carlota Pérez (2010), académica de las Universidades de Cambridge y Sussex, en el Reino Unido, y la Tecnológica de Tallin, en Estonia, las innovaciones individuales se agrupan y conectan entre sí para generar sistemas tecnológicos, los cuales, a su vez, se interconectan y dan paso a las revoluciones tecnológicas. Según la autora, a lo largo de la historia hemos vivido cuatro revoluciones tecnológicas y actualmente se está gestando la quinta.

La mejor conocida Revolución Industrial dio inicio con la máquina de vapor, en el siglo XVIII, en Inglaterra. Entonces se mecanizaron tareas simples y se construyeron líneas de ferrocarril que facilitaron la extensión territorial de la adopción de nuevas tecnologías. Un siglo más tarde tuvo lugar una segunda revolución tecnológica impulsada y acompañada por la generación de energía eléctrica, la producción en masa y la introducción de la línea de montaje o ensamble (Pérez, 2003).

La tercera revolución tecnológica comenzó en los años setenta del siglo XX con la automatización de los procesos industriales, gracias a los avances en la computación basados en la microelectrónica y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Para inicios del siglo XXI, la también llamada Cuarta Revolución Industrial se relaciona con la informatización y digitalización de la producción, así como con la generación, integración y análisis

de una gran cantidad de datos a lo largo del proceso productivo y del ciclo de vida de los productos, facilitados fundamentalmente por el uso de internet (Basco y Beliz, 2018).

Industria 4.0 y Cuarta Revolución Industrial

El concepto de la industria 4.0 se basa en el aumento de la convergencia entre diferentes ámbitos tecnológicos emergentes (tecnologías de producción digital, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales) y su complementariedad en la producción. Las expresiones que se utilizan habitualmente para referirse a la adopción de estas tecnologías en la producción manufacturera son: fabricación avanzada, fábrica inteligente o I4.0 (ONUDI, 2020). Las tecnologías habilitadoras o que se asocian a la industria 4.0 son: robótica, internet de las cosas, manufactura aditiva, grandes bases de datos (*big data*), computación en la nube e inteligencia artificial.

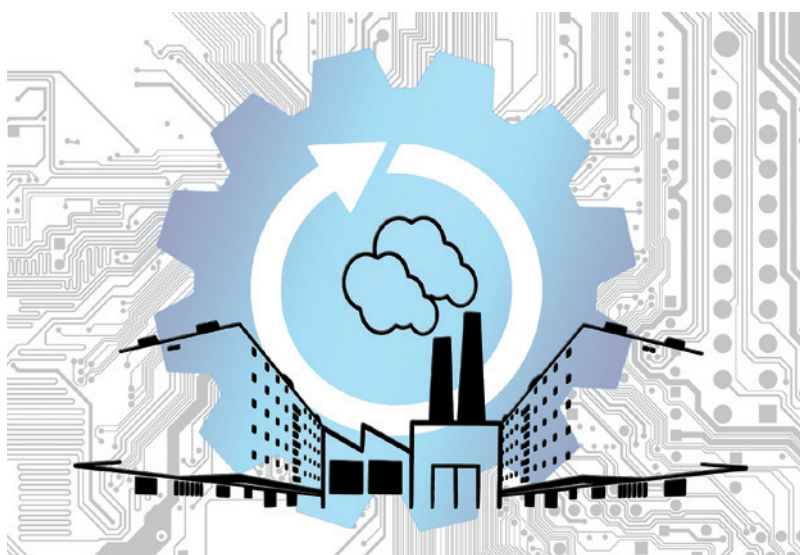
Una definición

El nombre de industria 4.0 surgió en Alemania en la Feria de Hannover en 2011 y fue introducido por un grupo de especialistas para generar un programa que mejorase la productividad de la industria manufacturera. Una de las definiciones propuestas está dada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2020):

el aumento de la convergencia entre diferentes ámbitos tecnológicos emergentes, como: tecnologías de producción digital, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales y su complementariedad en la producción.

La industria 4.0 representa un cambio asociado al impulso que generan las tecnologías habilitadoras, a la hiperconectividad de todas estas tecnologías, y a la cantidad de datos que se pueden obtener y utilizar. Esto puede originar una transformación importante en el sector productivo.

A fin de cuentas, todavía está en discusión si la industria 4.0 es la cuarta revolución tecnológica en la historia o si solamente es una extensión de las TIC. La magnitud y profundidad de estos cambios llevan



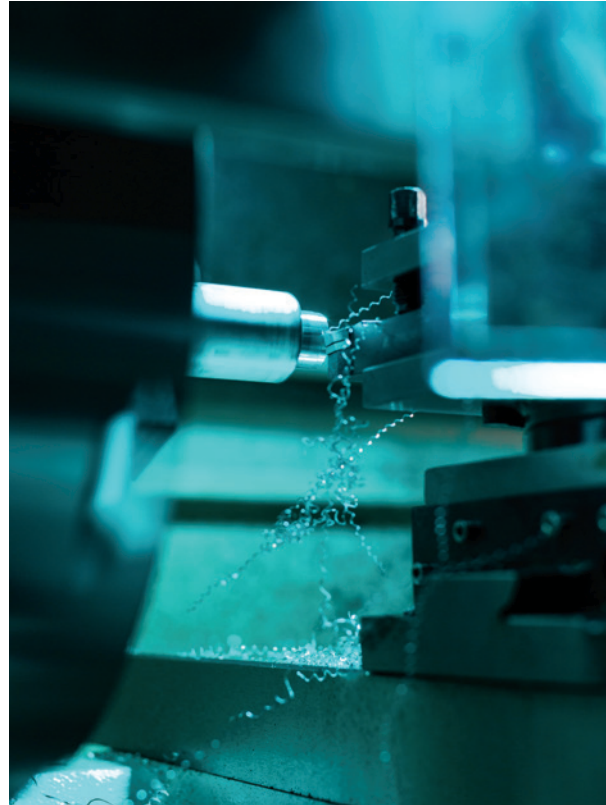
a plantear que estamos ante una nueva Revolución Industrial. Pero tampoco hay un acuerdo para nombrar a la industria 4.0 y las tecnologías asociadas: tecnologías exponenciales, tecnologías habilitadoras o tecnologías que sustentan a la industria 4.0. No obstante, más allá de esta discusión en torno a un fenómeno nuevo, actualmente estamos observando sus consecuencias en el sector industrial y de servicios en muchos países.

Una revisión de las revoluciones desde las tecnologías de producción

Desde la irrupción del nombre de industria 4.0, las revoluciones tecnológicas anteriores fueron conceptualmente asociadas a fases previas en la evolución del sector industrial, lo cual dio lugar a otros términos: industria 1.0, industria 2.0, industria 3.0. y –actualmente– industria 4.0. (Basco y Beliz, 2018). De acuerdo con la ONUDI, estos conceptos se asocian a la manufactura por su grado de complejidad y por su uso en la producción. Como ejemplo, en el Cuadro 1 se observa la categorización de las industrias 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0, que se asocian a cada una de las revoluciones tecnológicas mencionadas líneas arriba, en relación con los pilares o componentes que les dieron lugar.

¿Dónde está la industria?

De acuerdo con la ONUDI (2020), las economías en desarrollo han avanzado poco en el uso y crea-



ción de tecnologías 4.0, lo cual está generando más desigualdades en el mundo. El Cuadro 2 muestra la división en tres bloques, su descripción y los criterios que se tomaron en cuenta.

Como se observa, son unas 50 economías de los bloques 1 y 2 –con sus principales industrias y empresas– las que participan activamente en la creación, implementación y uso de estas tecnologías. En

Cuadro 1. Evolución de la industria asociada a cada revolución tecnológica y sus principales tecnologías

Industria	1.0	2.0	3.0	4.0
Tecnologías dominantes	Vapor y agua; mecanización de tareas individuales.	Energía eléctrica; automatización de máquinas.	Electrónica y tecnologías de la información; automatización flexible.	<i>Software</i> ; internet de las cosas; <i>big data</i> ; sensores y actuadores; inteligencia artificial; robots; impresión 3D; fabricación inteligente.
Manufactura	Producción analógica y rígida; las tecnologías se utilizan de forma limitada y con equipos aislados.	Producción en serie: Toyotismo y Fordismo; producción esbelta; las tecnologías utilizadas se empiezan a conectar con algunas áreas de la producción.	Producción integrada; empieza a generarse una interconexión entre las tecnologías asociadas a la industria en el proceso de producción.	Producción inteligente, totalmente integrada; se genera información en tiempo real que sirve de apoyo a la toma de decisiones.

Fuente: elaborada a partir de ONUDI (2020).

Cuadro 2. Participación de las economías en la creación, uso e implementación de tecnologías 4.0

Bloques	Descripción	Criterios
1. Economías punteras (10): Estados Unidos de América, Japón, Alemania, China, Taiwán, Francia, Suiza, el Reino Unido, la República de Corea y los Países Bajos.	Hay 10 principales economías activamente participando en la creación y uso de nuevas tecnologías.	Tienen más de 100 solicitudes de familias de patentes.
2. Economías de segundo nivel en términos de producción y uso (40): a) Innovadoras (p. ej. Israel, Italia, Suecia). b) Exportadoras (p. ej. Australia, Canadá). c) Importadoras (p. ej. México, Tailandia, Turquía).	Como innovadoras , están activamente en procesos de creación de patentes de nuevas tecnologías. Como exportadoras , son economías involucradas activamente en la exportación de estas tecnologías y venden grandes volúmenes a los mercados internacionales. Como importadoras , son economías involucradas activamente en la importación de las nuevas tecnologías.	Tienen 20 o más solicitudes de familias de patentes. Relativamente especializadas en la exportación de bienes relacionados a estas tecnologías. Relativamente especializadas en la importación, que compran grandes volúmenes en los mercados internacionales.
3. Países de industrialización tardía en términos de producción y uso (29): d) Innovadoras. e) Exportadoras. f) Importadoras.	Como innovadoras , son economías con alguna actividad de creación de patentes relacionadas con estas tecnologías. Como exportadoras , son economías con alguna actividad de exportación relacionadas con nuevas tecnologías. Como importadoras , son economías con alguna actividad de importación relacionada con estas tecnologías.	Economías con al menos alguna solicitud de patente. Especialización relativa en la exportación de bienes asociados a estas tecnologías y venden dentro de los mercados internacionales. Especialización relativa en cuanto a la compra de nuevas tecnologías.

Fuente: ONUDI (2020).

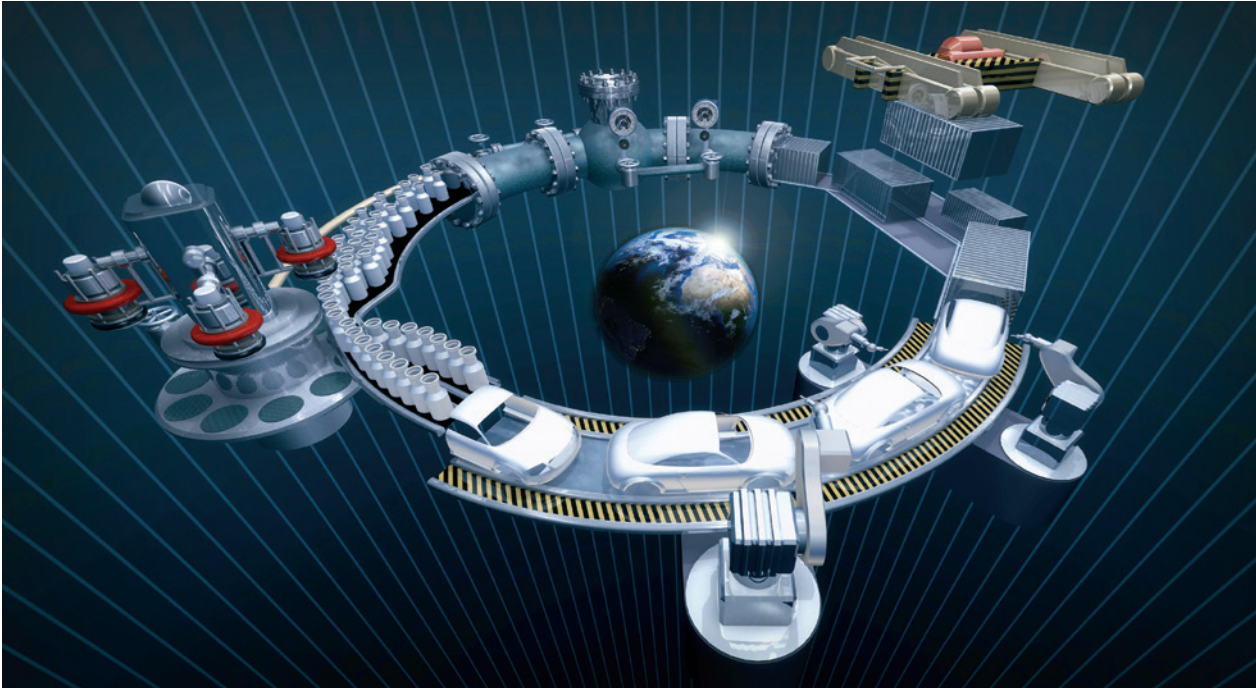
dichos países cada vez más se están adoptando las tecnologías 4.0; por ejemplo, el uso de robots ha crecido en sectores como los servicios, la industria química, la informática, la electrónica y en industrias proveedoras del sector automotriz. Sin embargo, las empresas se enfrentan a muchas barreras para poder adquirir las nuevas tecnologías y usarlas con éxito, sobre todo por lo costosas que son. En los hechos, en la mayoría de los países, el sector tiene industrias y empresas que usan tecnologías pertenecientes a diferentes revoluciones tecnológicas; o sea, que se clasifican como industria 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0.

Sin embargo, la industria 4.0 ofrece y enfrenta grandes desafíos para los países en desarrollo, sobre todo en términos de la adopción efectiva y modernización de sus sistemas de producción heredados del pasado. Un ejemplo es el de las economías latinoamericanas que se han caracterizado por una volatilidad

en las tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB), la falta de incentivos a la innovación, los altos costos para la introducción de nuevas tecnologías; todo esto sumado a una fuerte inestabilidad en términos políticos en toda la región (Dutrénit y cols., 2021), lo cual afecta aún más la adopción efectiva de estas nuevas tecnologías 4.0.

■ **Conclusión**

■ La incorporación de las tecnologías que se asocian con la industria 4.0 está formando parte de las grandes tendencias globales de digitalización. Su importancia va en aumento en todos los ámbitos de la vida y de la economía; debido a la conversión analógica-digital de los datos, todos los actores que intervienen en el proceso pueden beneficiarse, en cualquier momento y lugar, de toda la información disponible



en las cadenas productivas. Sobre esta base, es posible optimizar los procesos de producción y distribución, al tiempo que se generan nuevos mercados y campos de negocio. La magnitud y profundidad de estos cambios llevan a plantear que estamos ante una nueva revolución tecnológica.

No obstante, el proceso de adopción de las tecnologías 4.0 es desigual entre las industrias y los países: se está generando una nueva fuente de polarización entre los países avanzados, las economías emergentes y los países en desarrollo. En México se está avanzando sobre todo como resultado de la pertenencia de muchas empresas a cadenas globales de valor, pero se requieren políticas públicas para estimular una adopción más amplia en el sector industrial y de servicios, al tiempo que se atiendan los criterios que consideren la sostenibilidad social y ambiental.

Maribel García Barrientos

Universidad Autónoma Metropolitana.
maribelgb.eco29@gmail.com

Alexandre Oliveira Vera-Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
jaoveracruz@gmail.com

Lecturas recomendadas

- Basco, A. I. y G. Beliz (2018), *Industria 4.0: Fabricando el futuro*, Buenos Aires, BID.
- Dutrénit, G., J. M. Natera, M. Puchet y A. O. Vera-Cruz (2021), “Evolutionary and Interacting Spheres that Condition the Technological Capabilities Accumulation in Latin America”, en J.-D. Lee *et al.* (eds.), *Challenges of Technology and Economic Catch-Up in Emerging Economies*, Oxford, Oxford University Press.
- ONUDI (2020), *Informe sobre el Desarrollo Industrial 2020. La industrialización en la era digital. Resumen*, Viena, ONUDI.
- Pérez, C. (2003), “Revoluciones tecnológicas, cambios de paradigma y de marco socioinstitucional”, en J. Aboites y G. Dutrénit (coords.), *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*, México, UAM/Porrúa.
- Pérez, C. (2010), “Technological revolutions and techno-economic paradigms”, *Cambridge Journal of Economics*, 34(1):185-202. [Traducción al español disponible en: http://132.248.45.5/academia/inae/images/ProgramasyLecturas/lecturas/inae_ii/Revolucionestecnologicasparadigmastecnoeconomicos.pdf, consultado en enero de 2023.]