



ANEP



UTU

DIRECCIÓN GENERAL  
DE EDUCACIÓN  
TÉCNICO PROFESIONAL

# SENSIBILIZACIÓN FPB 2021

**Aspectos Básicos de la Industria 4.0**  
**Ministerio de Tecnologías y las Comunicaciones**  
**República de Colombia**



El futuro digital  
es de todos

MinTIC

# Aspectos Básicos de la Industria | 4.0

#MásTIC  
✓MejorPaís



El futuro digital  
es de todos

MinTIC

# Aspectos Básicos de la Industria | 4.0

MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA  
INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

2019

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Jefe Oficina Asesora de Planeación  
y Estudios Sectoriales  
Lady Didiana Velásquez

Grupo Interno de Trabajo de Estadísticas  
y Estudios Sectoriales  
Libia Marlén Alba López  
Armando Sixto Palencia Pérez

Diagramación  
Carlos Gustavo Suárez  
Oficina Asesora de Prensa



## TABLA DE CONTENIDO

Introducción

1. Enfoques conceptuales para definir la Industria 4.0
2. Concepto de Industria 4.0
3. De la primera revolución industrial a la Industria 4.0
4. Desafíos de la Industria 4.0
5. Visión de la Industria 4.0
6. Características de la Industria 4.0
7. Tecnologías digitales de la Industria 4.0
8. Modelo de madurez de la Industria 4.0
9. Implicaciones de política pública para la Industria 4.0

Conclusiones

Referencias bibliográficas

## Introducción

La industria manufacturera está enfrentando grandes cambios. Esos cambios son causados por varias megatendencias como la globalización, la urbanización, la individualización, y el cambio demográfico. El incremento en las actividades comerciales mundialmente conectadas aumenta la complejidad dentro de las redes de la industria manufacturera, y la demanda volátil y los productos personalizados influyen en sus procesos de planeación y de producción (Bartodziej, 2017).

La industria 4.0 es una nueva esfera de la industria que aparece como un resultado del surgimiento, distribución, uso y apropiación de nuevas tecnologías (tecnologías digitales y tecnologías de Internet) que permiten procesos de producción completamente automatizados donde los objetos físicos (máquinas) interactúan sin que se dé la participación humana.

El término 'Industria 4.0' se acuñó por primera vez en la Feria de Hannover en 2011, y desde ese entonces ha atraído gran atención de académicos, profesionales, funcionarios gubernamentales y políticos de todo el mundo.

El objetivo de este documento es presentar una revisión sobre los aspectos básicos de la Industria 4.0, específicamente sobre los enfoques conceptuales para definirla; el significado de dicho concepto; y sobre los desafíos, la visión, las características y las tecnologías digitales de la Industria 4.0. Además, se abordarán aspectos relacionados con el modelo de madurez y las implicaciones de política pública para la Industria 4.0.

## 1. Enfoques conceptuales para definir la Industria 4.0

Se distinguen cuatro enfoques conceptuales para el tratamiento del concepto de Industria 4.0: Enfoques basados en lo social, en competencias, en la producción y en el comportamiento (Sukhodolov, 2019).

**Enfoque basado en lo social** enfatiza el hecho de que el desarrollo de la Industria 4.0 influye fuertemente en la sociedad moderna y tiene manifestaciones positivas y negativas. Por un lado, la Industria 4.0 permite crear nuevos bienes, estimulando así el aumento del nivel de vida de la población. Por otro lado, la reducción de la participación humana en los procesos de producción puede conducir al desempleo masivo, que es un factor de restricción en el camino del desarrollo de la industria 4.0.

**El enfoque basado en competencias** prevé que el desarrollo de la Industria 4.0 requiere nuevas competencias de especialistas industriales modernos. Los cambios estructurales (la sustitución del trabajo manual (físico) por el intelectual) también van acompañados de cambios cualitativos: el mantenimiento de los sistemas de producción física autogestionados requiere de un especialista industrial moderno que posea nuevas competencias, que incluyen el conocimiento y la capacidad para usar las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

Dentro del **enfoque basado en la producción**, el desarrollo de la Industria 4.0 significa la modernización de la industria con la automatización a gran escala de los procesos de producción. Se hace hincapié en el componente organizativo del funcionamiento de las empresas industriales.

**Enfoque basado en el comportamiento** se centra en el hecho de que el desarrollo de la Industria 4.0 prevé la transición a la interacción objeto-objeto, es decir, la eliminación del sujeto (humano) del sistema de interrelaciones de objetos inanimados (dispositivos técnicos).

Estos enfoques reflejan ciertos aspectos de la Industria 4.0, por lo que las definiciones existentes de la noción "Industria 4.0", que se ofrecen dentro de estos enfoques, son limitadas y no permiten una reflexión completa acerca de la complejidad de este fenómeno multifacético.

## 2. Concepto de Industria 4.0

A partir de los enfoques planteados por Sukhodolov (2019), la Industria 4.0 se define como un nuevo modelo industrial para la autoorganización y la autogestión de sistemas de producción totalmente automatizados, que aprenden autónomamente y que son interactivos, en los que el núcleo son las nuevas tecnologías digitales y las tecnologías de Internet, y el papel de los humanos está limitado a su inicio, control y mantenimiento técnico, lo que requiere nuevas competencias de especialistas industriales modernos y está acompañado de cambios sociales.

Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial, con las tres primeras marcadas por la mecanización, la electricidad y las tecnologías de la información, respectivamente (Gilchrist, 2016). Esta cuarta revolución industrial es fundamentalmente diferente a las otras tres. Las nuevas tecnologías están fusionando los mundos físicos, digitales y biológicos (Đuričin & Herceg, 2018). Si bien, el término surgió en el ámbito manufacturero, la Industria 4.0 influye directamente en cada sector e industria, de tal forma que la interacción entre las tecnologías digitales y físicas y, en general, las capacidades que ofrece la Industria 4.0 no se limitan a mejorar el inicio, desarrollo y fin de la cadena de suministro, sino que aportan al crecimiento de las utilidades, al desarrollo y transformación de productos, y a la misma experiencia del cliente (Deloitte, 2017).

La Industria 4.0 surge simultáneamente con la fusión de tecnologías en un ecosistema digital, y los términos 'digitalización' e 'Industria 4.0' a menudo se usan de manera concomitante, a pesar de que la digitalización, que ya ha afectado a todas las partes de la sociedad durante años, tiene un rango mucho más amplio que la producción industrial. Para la Industria 4.0, la digitalización está especialmente relacionada con la conectividad y la interacción entre máquinas y humanos, lo que se espera que transforme el diseño, fabricación, operación y servicio de productos y sistemas de producción. Ejemplos de formas nuevas o mejoradas de

operación incluyen la toma de decisiones predictivas a través del análisis de Big Data; complejidad reducida a través de una mayor coordinación; nuevas formas de colaboración y coordinación (por ejemplo, economía compartida); flexibilidad en cuándo y dónde fabricar (por ejemplo, micropersonalización) y contribución digital mejorada a la productividad humana, desde el juicio humano hasta la inteligencia artificial (Sjøbakk, 2018).

Hermann *et al.* (2015) identificaron cuatro componentes clave de la Industria 4.0: sistemas ciber físicos, internet de las cosas, internet de los servicios y fábrica inteligente. Las tecnologías como la comunicación máquina a máquina y los productos inteligentes no se consideran como componentes independientes de la industria 4.0, ya que la primera hace parte de la internet de las cosas y los segundos son un subcomponente de los sistemas ciber físicos. El Big Data y el Cloud Computing son considerados como servicios de datos, los cuales utilizan los datos generados en la implementación de la industria 4.0, y no son componentes independientes (Bartodziej, 2017).

El término "Industria 4.0" se usa para denotar el proceso de transformación en las cadenas globales de creación de valor. La Industria 4.0 incluye procesos de negocios en la industria que contemplan la organización de redes de producción globales sobre la base de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, y tecnologías de Internet, con la ayuda de las cuales se lleva a cabo la interacción de los objetos de producción (Sukhodolov, 2019). La Industria 4.0 es una era dorada de la producción industrial, organizada sobre la base de tecnologías digitales y totalmente automatizada (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

La Industria 4.0 es un método revolucionario de organización de la producción industrial, basada en una amplia digitalización y automatización de los procesos de producción y de distribución en la industria, que borra los límites entre los objetos físicos, convirtiéndolos en un sistema complejo e integral de elementos interconectados e interdependientes (Sukhodolov, 2019).

El nuevo ecosistema digital está cambiando la forma en que los productos se diseñan, se crean y se entregan a los clientes. Si bien se espera que los productos, los servicios y la innovación inteligentes impulsen el crecimiento de la empresa, las cadenas de suministro y las fábricas son los principales impulsores de la eficiencia del nuevo paradigma industrial. Podría decirse que la transformación hacia la Industria 4.0 es una transformación tanto de las fábricas como de las cadenas de suministro: de fábricas tradicionales a 'fábricas inteligentes', 'fábricas digitales' o 'fábricas del futuro', y de cadenas de suministro tradicionales a 'redes de suministro digital'. Estos estados futuros se caracterizan comúnmente por un alto grado de automatización, integración y un amplio intercambio de información (Sjøbakk, 2018).

En el centro de la industria 4.0, el concepto de fábrica inteligente constituye una característica clave. La fábrica inteligente tiene algunas nuevas características que hace que las compañías enfrenten la complejidad y las disrupciones inesperadas, así como también que produzcan más eficientemente. En una fábrica inteligente, las personas, las máquinas y los recursos se comunican entre sí tan naturalmente como en una red social (Bartodziej, 2017).

El cambio completo hacia la Industria 4.0 puede no realizarse en décadas. Sin embargo, para seguir siendo competitivas, las empresas deberán acelerar sus esfuerzos hacia la Industria 4.0 (Sjøbakk, 2018). El uso de nuevas tecnologías digitales y la adquisición de conocimiento conducirán inevitablemente a nuevos tipos de trabajo y a nuevas formas de trabajar. Esto requerirá cambios en las estructuras internas de las empresas y en las relaciones entre ellas (Wiesner *et al.*, 2018; Schuh *et al.*, 2017).

Si bien el concepto de Industria 4.0 se afianza, no existe una idea clara de cómo deberían abordarlo las empresas. Hace falta una comprensión común de cómo las organizaciones deberían adaptarse a la Industria 4.0, dicha transformación es sin duda un imperativo estratégico que requiere un compromiso de largo plazo. En lugar de invertir en nuevas

tecnologías de manera ad hoc, las empresas deben adoptar un enfoque sistemático para abordar las oportunidades tecnológicas en toda la cadena de suministro (Sjøbakk, 2018).

La intensificación del desarrollo de la Industria 4.0 en los sistemas económicos modernos garantizará su desarrollo innovador, su crecimiento económico estable y el equilibrio de la estructura sectorial de la economía nacional (desarrollo simultáneo de la industria y de la esfera de servicios) (Sukhodolov, 2019).

Los estrategas aconsejan a las empresas que consideran la adopción de Industria 4.0, planificar las futuras iniciativas de la compañía y maximizar el potencial productivo (Lalic *et al.*, 2017). A medida que avanza la Industria 4.0, el modelo de negocio tradicional de fabricación está cambiando y están surgiendo nuevos modelos. Como tal, las empresas ya posicionadas en el mercado deben actuar rápido para reconocer y reaccionar ante estos nuevos desafíos competitivos (Sung, 2018). Específicamente, los ejecutivos deben considerar las siguientes opciones, descritas por Sung (2018), y estar atentos a otras que puedan estar implementando sus potenciales competidores (Baur & Wee, 2015).

- ‘Plataformas’, en la que los productos, servicios e información pueden intercambiarse a través de flujos predefinidos. Por ejemplo, los softwares de código abierto aplicado al contexto de fabricación.
- Servicios de pago por uso y por suscripción.
- Empresas que otorgan licencias de propiedad intelectual. En la actualidad, muchas empresas manufactureras tienen una gran experiencia en sus productos y procesos, pero carecen de la experiencia para generar valor a partir de sus datos.
- Negocios que monetizan datos.

### 3. De la primera revolución industrial a la Industria 4.0

En la Industria 4.0, el "4.0" se refiere a una cuarta revolución industrial que se espera sea realizada por los sistemas de producción ciber-físicos que fusionan los mundos real y virtual. La Industria 4.0 es una etapa de desarrollo adicional en la organización y gestión de la industria manufacturera, adicional a la producción mecánica impulsada por agua y vapor a fines del siglo XVIII (primera revolución industrial), a la producción en masa habilitada por energía eléctrica a principios del siglo XX (segunda revolución industrial) y a una mayor producción automatizada mediante la aplicación de electrónica y las tecnologías de la información desde la década de 1970 (tercera revolución industrial) (Sjøbakk, 2018).

El proceso de industrialización comienza con la introducción de equipos mecánicos en la manufactura al final del siglo XVIII. Las máquinas y los motores revolucionaron la forma en que los bienes eran producidos. La sociedad pasó de ser una sociedad agrícola a ser una sociedad industrial. Esta transformación fue seguida por una segunda revolución industrial que comenzó a principios del siglo XX e involucró la producción en masa de bienes usando electricidad y basada en la división del trabajo. Esta revolución se caracterizó por cambios organizacionales como la implementación de la producción en línea (fordismo) y la administración científica de procedimientos (taylorismo). La producción en masa aumentó y procedió en las industrias química, electrónica y automotriz. Este desarrollo fue remplazado por la tercera revolución industrial que comenzó en los años 70 y continúa hasta hoy. La tercera revolución se caracteriza por la implementación de la electrónica y de las tecnologías de la información para la automatización de los procesos de manufactura, lo que permite el gradual remplazo del trabajo humano. La tercera revolución está aún presente, pero se está transformando paulatinamente en una nueva era de industrialización: la cuarta revolución industrial (Bartodziej, 2017).

Desde la primera revolución industrial, los siguientes cambios radicales fueron las máquinas digitales y los ambientes de manufactura automatizados, los cuales provocaron efectos significativos sobre la productividad. Las principales razones y los disparadores de esos cambios radicales son la individualización de la demanda, la eficiencia de los recursos y los cortos periodos para desarrollar productos. Así, desarrollos como la web 2.0, las aplicaciones móviles, los teléfonos inteligentes, los computadores portátiles y las impresoras 3D, aparecieron y crearon un gran potencial para el desarrollo económico. Adicionalmente, la conexión de dispositivos electrónicos se realiza como parte de los sistemas distribuidos para proporcionar el acceso a toda la información relacionada para el procesamiento en tiempo real. Además, la capacidad de obtener los patrones de los datos en cualquier momento desencadena una predicción más precisa del comportamiento del sistema y proporciona un control autónomo. Todas estas circunstancias influyen en las empresas actuales y en los procesos de fabricación mientras surgen nuevos modelos de negocio. Por lo tanto, los desafíos para las empresas industriales modernas están relacionados con cadenas de valor más complejas que requieren la estandarización de los procesos de fabricación y una relación más estrecha entre las partes interesadas. (Salkin, *et al.*, 2018).

La industria 4.0 es, al igual que las tres previas revoluciones, dominada por las innovaciones técnicas. Mientras la mecanización y la electrificación condujeron las dos primeras revoluciones industriales, la tercera, la cual se caracterizó por un incremento de la informatización y la automatización, se está actualmente transformando en la cuarta revolución industrial. La industria 4.0 está marcada por una integración técnica de sistemas ciber físicos en los procesos de logística y manufactura, así como también por el uso del internet de las cosas y de los servicios en los procesos industriales. Las nuevas tecnologías tienen impacto sobre la creación de valor, la organización del trabajo, el flujo de servicios y los modelos de negocios de las compañías. En el desarrollo de la industria 4.0, el concepto de fábrica inteligente juega un papel importante. Así que un ambiente de producción flexible, auto

organizado y descentralizado reemplazará al ambiente de producción clásico, jerárquico y centralmente controlado (Bartodziej, 2017).

En una fábrica de Industria 4.0, además de monitorear en tiempo real la condición del sistema, y de proporcionar un diagnóstico de fallas, los componentes de los sistemas son capaz de ganar auto-conciencia y auto-predicción, lo que proporcionará una gestión con más información sobre el estado de la fábrica (Sung, 2018). Además, la combinación de información oportuna de varios componentes proporciona una predicción más precisa de las alertas de gestión de fábrica para activar el mantenimiento requerido en el mejor momento posible y así lograr el mantenimiento justo a tiempo y minimizar el tiempo de inactividad a casi cero (Tec. News, 2016).

El principio básico de Industria 4.0 es que, al conectar máquinas, flujos de trabajo y sistemas, las empresas implementan redes inteligentes (Smart Networks) a lo largo de toda la cadena de valor para controlarse de forma autónoma (Löffler & Tschiesner, 2013). El ejemplo típico de Industria 4.0 es una máquina que puede predecir fallas y activar procesos de mantenimiento o reaccionar ante imprevistos o cambios inusuales en la operación (Sung, 2018). Este ejemplo mostraría la racionalización de la fuerza impulsora detrás del Internet de las cosas, pero también mostraría la complejidad de la operación interna. Hasta ahora, las redes y procesos se han limitado a una sola fábrica. Sin embargo, en la era de la Industria 4.0 es muy probable que estos límites de fábricas individuales ya no existan (Hermann *et al.*, 2015). Esto último implica a su vez que los límites físicos colapsarán para interconectar varias fábricas y, de esa manera cubrir regiones geográficas más amplias.

La cuarta revolución industrial ha traído mejoras en el sector de los servicios y en la industria manufacturera. Esos avances condujeron al aumento de la productividad en los ambientes manufactureros y en las empresas de servicios. En recientes años las compañías manufactureras y las empresas de servicios han enfrentado importantes retos debido a la

necesidad en la coordinación y conexión de conceptos disruptivos como las redes y la comunicación (Internet Industrial), los sistemas embebidos (Sistemas Ciber Físicos), la robótica adaptativa, la ciber seguridad, la analítica de datos y la inteligencia artificial, y la manufactura adaptativa (Salkin, *et al.*, 2018).

La cuarta revolución industrial es una revolución hacia la digitalización. El cambio social de una sociedad industrializada a una sociedad post industrializada, basada en el conocimiento, orientada el servicio, y basada en la información, puede ser designado como una revolución digital (Bartodziej, 2017). En tal sentido, Schwab (2016) argumenta que estamos al comienzo de la cuarta revolución industrial que se basa en la revolución digital con Internet mucho más móvil, sensores más pequeños y potentes que cada vez se hacen más baratos y asequibles, e inteligencia artificial y aprendizaje automático.

## 4. Desafíos de la Industria 4.0

Es importante también reconocer y evaluar los efectos económicos de la Industria 4.0, en particular, la digitalización y la transformación digital de los procesos de producción. Estos desarrollos implican desafíos considerables a nivel empresarial y político. Los efectos de la Industria 4.0 se pueden reflejar en múltiples niveles: en ecosistemas completos, a nivel organizacional y a nivel individual de empleados y clientes. En este sentido, la Industria 4.0: (1) permite la toma de mejores decisiones; (2) provoca que las organizaciones evolucionan y se adaptan a nuevas presiones y demandas; y (3) permite el empoderamiento tanto de los trabajadores como de los clientes (Deloitte, 2017). Muchos son los desafíos para la implementación de la Industria 4.0. Estos desafíos incluyen:

- Problemas de seguridad en las TIC.
- Fiabilidad y estabilidad necesarias para la comunicación crítica de máquina a máquina (M2M), incluida una latencia muy corta y estable.
- Necesidad de mantener la integridad de los procesos de producción.
- Es necesario evitar cualquier problema de TIC, ya que causaría costosas interrupciones de producción.
- Necesidad de proteger el conocimiento industrial (incluido también en los archivos de control para equipos de automatización industrial).
- Falta de habilidades adecuadas para acelerar la marcha hacia la cuarta revolución industrial.

- La amenaza de acciones repetitivas en los departamentos corporativos de TIC.
- Renuencia general al cambio por parte de los agentes involucrados.
- Pérdida de muchos trabajos en favor de procesos automáticos y procesos controlados por TIC, especialmente para la población trabajadora con menos educación.

Quizás el aspecto más desafiante de implementar Industria 4.0 es el riesgo de seguridad de TIC (Kumar *et al.*, 2016). Industria 4.0 requerirá la integración en línea entre varias entidades, y esta integración en línea dará lugar a violaciones de seguridad y fugas de datos (Sung, 2018). El robo cibernético sería otra amenaza peligrosa (Martin *et al.*, 2019). En este caso, el problema no es individual, y esto costará sustancialmente a los fabricantes e incluso podría dañar su reputación. Por lo tanto, la seguridad es un tema crucial que debe abordarse seriamente.

La transformación a la Industria 4.0 requerirá cuantiosas inversiones en nuevas tecnologías, y la decisión de tales transformaciones deberá tomarse a nivel de la gerencia general de las empresas (Sony & Naik, 2019). Por tal razón, los riesgos deben calcularse y tomarse en serio.

Si bien todavía es temprano para especular sobre problemas de empleo con el advenimiento de la Industria 4.0, lo más probable es que los trabajadores necesitarán adquirir habilidades diferentes o completamente nuevas (Shamim *et al.*, 2016). Esto puede ayudar a que aumenten las tasas de empleo, pero también alienará a un gran sector de trabajadores. El sector de los trabajadores cuyo trabajo es quizás repetitivo y rutinario enfrentará un duro desafío para mantener sus trabajos. Se deben introducir sistemas educativos nuevos y bastante diferentes, pero esto aún no resuelve el problema para los trabajadores de más edad. Este es un problema estructural que por su naturaleza puede llevar bastante tiempo resolver.

Finalmente, la privacidad no solo es una preocupación del cliente, sino también del fabricante (Sung, 2018). En una red de Industria 4.0 interconectada, los fabricantes deben recopilar y analizar una gran cantidad de datos. Para las empresas, esto puede parecer una amenaza a su seguridad corporativa. Para los clientes puede considerarse una invasión en su privacidad personal. Reducir la brecha entre el consumidor y el fabricante será un gran desafío para ambas partes.

## 5. Visión de la Industria 4.0

La visión de la Industria 4.0 es que, en el futuro, el sector industrial construirá redes globales para conectar sus máquinas, sus fábricas, sus depósitos de almacenamiento como sistemas ciber físicos, los cuales se conectarán y controlarán entre sí inteligentemente compartiendo información que les permita tomar decisiones. Esos sistemas ciber físicos tomarán la forma de fábricas inteligentes, máquinas inteligentes, depósitos de almacenamiento inteligentes y cadenas de valor inteligentes (Gilchrist, 2016).

En el centro de la visión de la Industria 4.0 está la fábrica inteligente, la cual cambiará la forma en que se produce actualmente, basada no solo en máquinas inteligentes sino también en productos inteligentes. Los productos elaborados también serán inteligentes, así que ellos pueden ser identificados y localizados todo el tiempo a través del proceso de manufactura. La miniaturización de las etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) permitirá que los productos sean inteligentes y sepan qué son, cuándo fueron manufacturados, cuál es su estado actual, y cuáles son los pasos requeridos para alcanzar su estado deseado (Gilchrist, 2016).

Adicionalmente, otro elemento clave en la visión de la Industria 4.0 es la integración de los procesos de manufactura verticales en la cadena de valor. Así que los sistemas horizontales son integrados con los procesos verticales (ventas, logística, finanzas, entre otros) y con los sistemas de tecnologías para la información asociados. Ello permitirá a las fábricas inteligentes controlar la administración del proceso completo de manufactura desde la cadena de suministros pasando por los servicios y la administración del ciclo de vida (Gilchrist, 2016).

La Industria 4.0 implementa las herramientas proporcionadas por los avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones, y en las tecnologías operacionales para

aumentar los niveles de automatización y digitalización de la producción, y en los procesos industriales y de manufactura. El objetivo es gestionar todo el proceso de la cadena de valor, mejorando la eficiencia en el proceso de producción y creando productos y servicios de calidad superior. Esta visión sigue la máxima de mayor calidad, pero no a expensas de un precio más bajo. Esta filosofía ha producido la fábrica inteligente del futuro, donde las eficiencias y los costos mejoran y las ganancias aumentan. Esta fábrica del futuro ya está aquí, como una que opera con eficiencia silenciosa, donde todos los procesos, impulsados por sistemas ciberfísicos y humanos por igual, son diferentes a las fábricas tradicionales, ya que funcionan en entornos casi estériles, limpios, seguros, confiables y eficientes (Gilchrist, 2016).

## 6. Características de la Industria 4.0

Las características más importantes que distinguen a la Industria 4.0 de la producción industrial tradicional son: la integración absoluta (interconexión estrecha) y la interactividad (adaptación a la situación en tiempo real) de todos los procesos de producción de una empresa industrial, aseguradas por medio de tecnologías digitales modernas (Sukhodolov, 2019).

Las cuatro principales características específicas de la Industria 4.0 son: (1) Integración vertical de sistemas de producción inteligentes; (2) Integración horizontal a través de redes globales de cadenas de valor; (3) Ingeniería completa en toda la cadena de valor; y (4) Aceleración de la fabricación (Gilchrist, 2016).

**La integración vertical de sistemas de producción inteligentes** hace referencia a que las fábricas inteligentes, que son esencialmente el núcleo de la Industria 4.0, no pueden funcionar de manera independiente. Existe la necesidad de establecer redes de fábricas inteligentes, productos inteligentes y otros sistemas de producción inteligentes. La esencia de las redes verticales se deriva del uso de sistemas de producción ciber físicos, que permiten a las fábricas y plantas de fabricación reaccionar rápida y adecuadamente a las variables, tales como niveles de demanda, niveles de existencias, defectos de la máquina y retrasos imprevistos. Del mismo modo, la creación de redes y la integración también implican la logística inteligente y los servicios de marketing de una organización, así como sus servicios inteligentes, ya que la producción se personaliza de tal manera que se individualiza y se dirige específicamente a los clientes.

**La integración horizontal a través de redes globales de cadenas de valor** facilitará el establecimiento y mantenimiento de redes que crean y agregan valor. La primera relación que viene a la mente cuando se habla de integración horizontal es la que existe entre los socios

comerciales y los clientes. Sin embargo, también podría significar la integración de nuevos modelos de negocio en todos los países e incluso en todos los continentes, creando una red global.

**La ingeniería completa en toda la cadena de valor** significa que toda la cadena de valor en la industria está sujeta a lo que se denomina ingeniería directa, donde el ciclo de vida completo del producto se rastrea desde la producción hasta la entrega al consumidor final. Cuando se trata de componentes industriales, la calidad es el rey. En consecuencia, toda la cadena de valor debe centrarse en la calidad y la satisfacción del cliente, por lo que el fabricante debe crear productos para satisfacer las expectativas del cliente. En la Industria 4.0 se cubre tanto el proceso de producción como el ciclo de vida completo del producto.

**La aceleración de la fabricación** indica que las operaciones comerciales, particularmente aquellas involucradas en la fabricación, hacen uso de muchas tecnologías, gran parte no son innovadoras o son costosas, y la mayoría de ellas ya existen. Como se puede ver en estas cuatro características de la Industria 4.0, hay un gran enfoque en este concepto de cadena de valor.

Como complemento a lo anterior, las tecnologías más importantes en la Industria 4.0 son las tecnologías de la información y las comunicaciones. En la Industria 4.0, las nuevas posibilidades surgen tan rápidamente que es regularmente difícil para las organizaciones industriales mantener el paso del progreso (Đuričin & Herceg, 2018). Estas nuevas posibilidades se basan en las siguientes características:

1. Transición de trabajo manual a trabajo robotizado, lo que garantiza la automatización de todos los procesos de producción;
2. Modernización de los sistemas de transporte y logística, causada por la distribución masiva de vehículos no tripulados;

3. Aumento de la complejidad y precisión de los productos técnicos fabricados, y fabricación de nuevos materiales de construcción debido a la mejora de las tecnologías de producción;
4. Desarrollo de comunicaciones entre máquinas y autogestión de sistemas físicos, realizado con la ayuda de la "Internet de las cosas"; y
5. Aplicación de programas de autoaprendizaje para la provisión de desarrollo constante de los sistemas de producción.

## 7. Definiciones de las tecnologías de la Industria 4.0

La Industria 4.0 se desencadena por tecnologías digitales que tienen un impacto disruptivo en los modelos de negocio de las empresas, y en la forma en que operan y crean valor para el cliente. Se utilizan diferentes términos para describir las tecnologías que impulsan la Industria 4.0. Se definen nueve tendencias tecnológicas que constituyen los componentes básicos de la Industria 4.0: (1) el Internet industrial de las cosas, (2) análisis de Big Data, (3) computación en la nube, (4) simulación, (5) realidad aumentada, (6) robots autónomos, (7) fabricación o manufactura aditiva, (8) ciber-seguridad, e (9) integración horizontal y vertical del sistema (Sjøbakk, 2018; Đuričin & Herceg, 2018; Salkin, *et al.*, 2018).

**Internet industrial de las cosas.** El Internet Industrial de las cosas (IIoT) permite la comunicación entre todos los dispositivos dentro y fuera de la fábrica. IIoT es una red no determinista y abierta en la que las entidades inteligentes auto organizadas y los objetos virtuales son interoperables y capaces de actuar de forma independiente persiguiendo sus propios objetivos (u objetivos compartidos) dependiendo del contexto, las circunstancias o los entornos.

**Análisis de big data.** Big data se caracteriza por el volumen, la variedad y la velocidad (los 3V), y requiere nuevas técnicas de procesamiento y análisis de datos. La visualización, el análisis y el intercambio de datos son la base de los análisis que respaldan la toma de decisiones y mejoran la autoconciencia y el mantenimiento de las máquinas.

**Computación en la nube.** La computación en la nube está relacionada con la infraestructura de las TIC que permite el acceso ubicuo a los datos desde diferentes dispositivos. La nube puede tratarse como un servicio y soporte de diseño colaborativo, fabricación distribuida, recolección de innovación, minería de datos, tecnología web semántica y virtualización.

**Simulación.** Las herramientas de simulación se pueden utilizar ampliamente en toda la cadena de valor, desde el diseño del producto hasta la gestión de operaciones. Las herramientas de modelado y simulación son cruciales para el desarrollo de la ingeniería digital y la representación virtual de productos y procesos, a fin de identificar de antemano posibles problemas, evitando el desperdicio de costos y de recursos en la producción.

**Realidad aumentada.** La realidad aumentada (RA) permite la creación de un entorno virtual en el que los humanos pueden interactuar con máquinas utilizando dispositivos capaces de recrear el espacio de trabajo. Las aplicaciones interesantes de RA están relacionadas con la capacitación de trabajadores y el apoyo en actividades de producción manual.

**Robots autónomos.** La evolución de los robots tradicionales abrió el camino a nuevas soluciones colaborativas de robots (es decir, CoBots) que pueden trabajar junto con los humanos de una manera segura y eficiente. La interacción humano-robot puede permitir una alta productividad. Además, la inteligencia integrada en los robots puede permitirles aprender de las actividades humanas, mejorando su autonomía y flexibilidad.

**Manufactura Aditiva.** La manufactura aditiva consiste en un conjunto de tecnologías que permiten producir pequeños lotes de productos con un alto grado de personalización al agregar en lugar de eliminar material de un bloque sólido. La reducción de material de desecho, un lanzamiento más rápido al mercado debido a la rápida creación de prototipos, una mayor flexibilidad de producción y un menor número de herramientas requeridas son las principales ventajas de esta tecnología.

**Ciber-seguridad o seguridad cibernética.** Para garantizar la seguridad de la gran cantidad de datos recopilados, almacenados y comunicados a través de IIoT, las estrategias de ciberseguridad son uno de los principales desafíos para el futuro.

**Integración horizontal y vertical.** La integración horizontal se refiere a la creación de una red de valor global a través de la integración y la optimización del flujo de información y de bienes entre empresas, proveedores y clientes. La integración vertical, en cambio, es la integración de funciones y departamentos de diferentes niveles jerárquicos de una empresa, creando un flujo constante de datos y de información.

Las anteriores tecnologías deben ser compatibles con tecnologías básicas como los sensores y los actuadores, las tecnologías RFID (Identificación por Radiofrecuencia) y RTLS (Sistemas de Localización en Tiempo Real) y las tecnologías móviles, y con los siete principios de diseño denominados gestión de datos en tiempo real, interoperabilidad, virtualización, descentralización, agilidad, orientación al servicio y procesos empresariales integrados (Salkin, *et al.*, 2018).

Hay tres diferentes tipos de tecnologías orientadas a la innovación: tecnologías marcapasos, tecnologías clave y tecnologías básicas (Bartodziej, 2017).

**Las tecnologías marcapasos** están en una muy primera etapa de desarrollo, son tecnologías clave potenciales del futuro si ellas alcanzan la etapa de una innovación de producto o proceso. Solo pocas compañías tienen implementadas esas tecnologías. Ellas tienen un gran potencial para crear alto valor para los negocios, pero también constituyen un potencial factor de riesgo. Las expectativas de un impacto sostenible de las tecnologías marcapasos sobre mercados potenciales son significativas debido a su importancia estratégica para la competencia.

**Las tecnologías clave** se desarrollan desde las tecnologías marcapasos. Ellas aseguran y facilitan el crecimiento del mercado a medida que se introducen como innovaciones. Las tecnologías clave crean un impacto sostenible sobre la diferenciación estratégica contra competidores en un sector específico. Algunas compañías ya han implementado esas

tecnologías. Las inversiones para el desarrollo de las tecnologías clave son aún altas (en relación con las inversiones en tecnologías básicas) debido a su potencial extensión a otras áreas de aplicación.

**Las tecnologías básicas** están probadas, aprobadas y casi estandarizadas en uno o más sectores industriales. Esas tecnologías son responsables del éxito de los negocios, pero no son capaces de asegurar ninguna ventaja competitiva. El uso de las tecnologías básicas en ciertos sectores es un requisito para jugar un rol importante en esa área de actividad.

Hay otro tipo de tecnologías que, aunque no están orientadas a la innovación, tiene una importancia significativa: **las tecnologías multisectoriales**. Ellas se caracterizan por su aplicación en diferentes áreas y por ser también la base de otras tecnologías. Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y la microelectrónica son ejemplos de las tecnologías multisectoriales, ya que ellas penetran muchas áreas sociales y económicas (Bartodziej, 2017).

## 8. Modelo de madurez de la Industria 4.0

Un criterio fundamental para un modelo de madurez adecuado es su **adaptabilidad** general a la estructura organizativa de las pequeñas y medianas empresas (PYME). Muchos esfuerzos de digitalización fallan debido (1) a la poca motivación de los empleados que, a veces, no están abiertos a nuevas ideas; y (2) a la complejidad y a la incomprendibilidad de los desarrollos tecnológicos. Por lo tanto, un modelo de madurez adecuado no debe ser demasiado complicado para ser entendido (**simplicidad**), debe explicar la idea general de la digitalización y sus conceptos relacionados, aclarando las incertidumbres en lugar de crear otras nuevas. Esto también incluye la **facilidad de implementación** (Wiesner *et al.*, 2018).

Las PYME específicamente necesitan inicialmente información sobre las posibilidades de digitalización y posteriormente una guía sobre cómo dar los primeros pasos hacia la transformación digital. En consecuencia, una función importante de un modelo de madurez es brindar orientación a las PYME sobre cómo lograr un mayor nivel de madurez en su dominio específico y continuar en la dirección correcta con su estrategia comercial. El modelo de madurez debería permitirles posicionar su negocio frente a tendencias externas y dar una guía para seleccionar opciones tecnológicas y de servicios inteligentes adecuadas (Wiesner *et al.*, 2018).

Fuertemente vinculados a la incertidumbre sobre los conceptos de digitalización, los requisitos de conocimiento para utilizar un modelo de madurez son cruciales para que el modelo sea adecuado para las PYME. Un alto conocimiento inicial constituye una especie de barrera de entrada. Las empresas perciben los conceptos de Industria 4.0 como altamente complejos y carecen de una idea clara de Industria 4.0, lo que genera incertidumbre con respecto a sus beneficios y resultados (Wiesner *et al.*, 2018).

Uno de los primeros obstáculos que enfrentan las empresas que se acercan a la digitalización es comprender su nivel de madurez, generalmente definido como el estado en el que están listas para la transformación digital. El objetivo de los modelos de madurez es proporcionar medios para evaluar la madurez actual de una empresa para implementar aspectos de la Industria 4.0 e identificar medidas concretas para ayudarlas a alcanzar una etapa de madurez más alta que les permita maximizar sus beneficios (Wiesner *et al.*, 2018).

El modelo incluye tres fases distintas: una fase inicial para crear una comprensión completa del concepto de Industria 4.0; una fase de desarrollo para diseñar y definir la estructura del modelo y para establecer una herramienta práctica aplicable; y una fase de implementación para validar la herramienta en una aplicación de la vida real. El modelo de madurez toma como entradas la situación actual y la estrategia corporativa de la empresa con el fin de proporcionar como resultado una hoja de ruta para la transformación digital (Wiesner *et al.*, 2018).

Los requerimientos para desarrollar un nuevo modelo de madurez de la Industria 4.0 que sea útil para las PYME son: analizar la estructura organizacional y la estrategia; cambiar la cultura y el liderazgo; determinar cómo satisface las necesidades del cliente final; y establecer el nivel tecnológico dentro de la Industria 4.0 (Wiesner *et al.*, 2018).

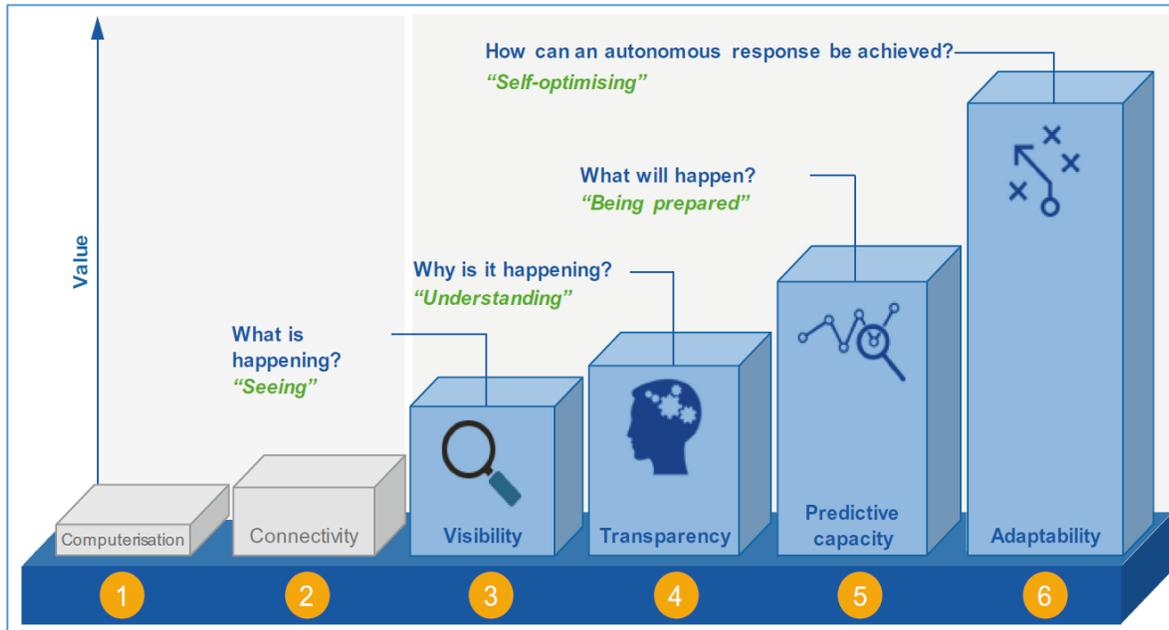
## Niveles de madurez de la Industria 4.0

La ruta de desarrollo se basa en la informatización, que es el punto de partida para la digitalización y se refiere al uso específico de las tecnologías de la información. En la mayoría de las empresas, la etapa de informatización se encuentra en gran medida en un estado muy avanzado y se utiliza particularmente para el diseño eficiente de actividades repetitivas, ya que permite una producción rentable con bajas tasas de error y genera la precisión necesaria, que es indispensable para la producción de muchos productos modernos. Al alcanzar el nivel de

**conectividad**, el uso selectivo o aislado de tecnologías de la información (TI) se reemplaza por componentes en red, por lo que los sistemas de TI están interconectados y representan una proyección de los procesos empresariales misionales. Todavía no se ha producido una integración completa entre los niveles de TI (tecnologías de la información) y de OT (tecnologías operativas). Con base en esto, se establece **la visibilidad digital** que permite el registro de procesos de principio a fin con una gran cantidad de datos capturados. Los estados de los procesos ya no se limitan a áreas individuales, sino que se pueden extender a un sistema de producción o a toda la compañía en tiempo real para crear un modelo digital, también conocido como la "copia digital". Esta copia digital, que debe entenderse como un elemento básico para los niveles de madurez posteriores, ayuda a mostrar lo que está sucediendo en la empresa (en tiempo real) y permite la toma de decisiones basadas en datos. Para una mejor comprensión causal de los procesos, es necesario destacar **la transparencia** sobre las correlaciones en los conjuntos de datos. El reconocimiento e interpretación de las interdependencias a través de la copia digital requiere el análisis de los datos recopilados en el contexto respectivo utilizando conocimientos de ingeniería. El conocimiento del proceso es cada vez más necesario para soportar decisiones más complejas, que se basan en conexiones semánticas y agregación de datos y su clasificación correspondiente en un contexto determinado. Este proceso es apoyado fundamentalmente por las nuevas tecnologías para el análisis de datos masivos. Al acumularse, **el nivel de capacidad predictiva** permite la simulación de diferentes escenarios futuros y la identificación de aquellos que son más probables. Con este fin, la copia digital se proyecta en escenarios basados en el futuro y se evalúa de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia. Esto permite a las empresas anticiparse a los próximos eventos, tomar decisiones a tiempo y tomar medidas de reacción adecuadas. Aunque las medidas generalmente aún deben iniciarse manualmente, los efectos de una interrupción pueden ser limitados debido al tiempo ganado a través de la advertencia previa. La reducción de tales interrupciones o variaciones en la planificación, que representan eventos inesperados en el proceso comercial, permite una operación más sólida. **La capacidad de adaptación** puede permitir una reacción automática ante fallas esperadas de la máquina o

demoras en la entrega a través de una secuencia modificada en la planificación de la producción. Si una empresa logra explotar los datos de la copia digital de tal manera que las decisiones se tomen de forma autónoma, con los mejores resultados positivos en el menor tiempo posible y se toman las medidas correspondientes, entonces la sexta etapa del modelo se ha implementado con éxito. Sin embargo, es importante evaluar cuidadosamente los riesgos de automatizar las aprobaciones. Para esto se debe dar una relación costo-beneficio correcta (Zeller *et al.*, 2018).

Gráfica 1. Niveles de madurez de la Industria 4.0



Fuente: Zeller *et al.* (2018)

Las habilidades que son relevantes para la transformación digital de una empresa se evalúan a través de las cuatro áreas estructurales de (1) recursos, (2) sistemas de información, (3) estructura organizativa, y (4) cultura corporativa. Cada área estructural está dividida por dos principios, cada uno de los cuales, dependiendo de los niveles de desarrollo orientados a los beneficios, desarrolla sucesivamente habilidades. Estas habilidades guían el desarrollo posterior de la empresa. El grado en que se implementan las habilidades determina el nivel de madurez de cada principio. Los niveles de madurez de los dos principios se resumen y juntos representan la evaluación del área estructural, que está orientada a los niveles de desarrollo (Zeller *et al.*, 2018).

**El área estructural de recursos** incluye todos los recursos físicos y tangibles. Contiene, por ejemplo, empleados de la empresa, maquinaria y sistemas, las herramientas y materiales utilizados y el producto final. El objetivo es diseñar recursos que permitan una interfaz entre

los mundos físico y digital además del cumplimiento funcional puro, creando así una copia digital que forme la base del proceso de aprendizaje para la optimización. Los dos principios que dividen esta área estructural son: (a) la competencia digital y (b) la comunicación estructurada. La “competencia digital” se caracteriza por la generación de datos y su procesamiento independiente para obtener información con los componentes técnicos correspondientes. Las habilidades de la competencia digital también incluyen el uso de sistemas integrados y la retención de la competencia digital, que solo puede ser exitosa si se presta atención a promover el pensamiento y la acción interdisciplinarios por parte de los empleados y si están cada vez más integrados en el proceso de innovación. A través de la “comunicación estructurada”, la información recopilada se vincula y crea una imagen general. Se puede definir una comunicación eficiente y diseñar una interfaz para apoyar a los tomadores de decisiones (Zeller *et al.*, 2018).

Con la ayuda de los empleados y de las tecnologías de la información, la información obtenida a partir de los datos está disponible dentro de los sistemas de información. Muchas empresas no hacen suficiente uso de los datos. El factor decisivo es el procesamiento insuficiente de los datos recopilados para ser convertidos en información y su posterior suministro a los empleados, razón por la cual el primer principio incluye (c) la preparación y el procesamiento de datos para el soporte de las decisiones. Esto requiere, entre otras cosas, la provisión de información basada en el contexto, el almacenamiento de datos y las interfaces orientadas a aplicaciones para proporcionar una infraestructura técnica para el uso en tiempo real de los datos y de la información en última instancia. En el contexto del segundo principio, es una cuestión de integración para (d) el uso optimizado de datos y una mayor agilidad bajo el aspecto primario del intercambio de datos dentro de la cadena de valor (Zeller *et al.*, 2018).

La transformación digital se logra a través de las tecnologías explicadas anteriormente y la implementación de una estructura organizativa adecuada. En este modelo, la estructura organizativa se refiere, por un lado, a la (e) organización corporativa interna en forma de

estructuras y procesos organizativos, y por otro lado, describe (f) el posicionamiento en la red de valor. La estructura organizacional establece reglas obligatorias que organizan la colaboración tanto dentro de la empresa como externamente. Un alto grado de responsabilidad individual por parte de los empleados es característico de la organización interna, razón por la cual una fuerza laboral altamente calificada es de fundamental importancia. Especialmente las llamadas "comunidades flexibles", es decir, la rápida formación de unidades organizativas para resolver una tarea específica, representan una capacidad importante de las organizaciones ágiles. Además, es importante agrupar el alto grado de responsabilidad personal a través de sistemas motivadores y su orientación hacia el beneficio del cliente, lo cual es particularmente factible a través de una gestión ágil. Se puede determinar si una empresa está en condiciones de cooperar dentro de las redes, entre otras cosas, logrando tiempos de reacción más cortos ante los requisitos cambiantes del mercado agrupando las competencias en línea con la demanda (Zeller *et al.*, 2018).

La agilidad de una empresa depende en gran medida del comportamiento de sus empleados. Las empresas no podrán lograr la agilidad deseada si simplemente introducen tecnologías digitales sin abordar también su cultura corporativa. En este contexto, se pueden mencionar dos direcciones para cambiar la cultura corporativa: (g) la voluntad de cambiar y (h) la colaboración social. El primer término se refiere a la disposición de los empleados a analizar continuamente y, si es necesario, adaptar su propio comportamiento. Esta disposición a adaptarse en el marco de la preparación para el cambio va junto con el requisito previo de poder reconocer las oportunidades de cambio y luego iniciar las medidas apropiadas. Además, es ventajoso ver los errores no como un problema, sino como una oportunidad para un cambio positivo y una cierta apertura a las innovaciones, así como la voluntad de recibir capacitación continua. El término colaboración social se refiere a la consideración del conocimiento como una guía decisiva para la acción, lo que implica que un estado ideal se caracteriza por tomar decisiones basadas en el conocimiento (Zeller *et al.*, 2018).

## 9. Implicaciones de política pública para la Industria 4.0

Lo que se desprende del análisis planteado es que la implementación de nuevas tecnologías y la sustitución de mano de obra por el capital es un proceso que tiene lugar en todas las industrias para reducir costos, aumentar la productividad y facilitar la provisión de soluciones individuales para los clientes. La mayoría de los estudios se refieren a las industrias manufactureras, aunque la iniciativa de Industria 4.0 es relevante en todos los sectores. Las implicaciones de política pública para la Industria 4.0 incluyen: entorno laboral, desarrollo de habilidades, crecimiento económico y equilibrio macroeconómico, sostenibilidad y medio ambiente, estabilidad política, cambio en los procesos comerciales, digitalización y transformación digital, y fábrica y fabricación inteligente.

En este análisis, los aspectos del entorno laboral y el desarrollo de habilidades están globalmente bien descritos y monitoreados. Muchos estudios enfatizan la creciente necesidad de operadores de fábrica inteligentes y el proceso educativo requerido para su capacitación. Aunque no siempre fue la principal contribución, por lo general fue al menos uno de los requisitos previos más importantes para una introducción exitosa de la fabricación inteligente, la implementación de un nuevo proceso comercial u otra adopción de la Industria 4.0. En el estado actual de las cosas, los trabajadores jóvenes no están preparados ni conscientes de la próxima tendencia en la que probablemente vivirán y trabajarán. Por lo tanto, para abordar este problema, Petrillo *et al.* (2018) enfatizan la necesidad de crear "sistemas detrás de la fábrica del futuro" y promover pasantías.

Otra cuestión problemática está relacionada con los trabajadores que ya están empleados. En general, se espera que haya una situación potencialmente volátil cuando los trabajadores repetitivos o de trabajo de rutina se enfrenten a un desafío para retener sus trabajos. Petrillo *et al.* (2018) ven la solución en la capacitación continua; sin embargo, como lo señala Sung (2018), la capacitación o incluso un nuevo sistema educativo no resuelve el problema para los

trabajadores mayores. Por lo tanto, se define esta área de investigación como importante, enfatizada repetidamente, pero sin una metodología clara sobre cómo resolver el problema. Muchos documentos incluyen sugerencias para herramientas específicas, pero no incluyen un marco de referencia; o, en el mejor de los casos, proporcionan observaciones generales sobre las etapas para tratar el problema, pero no las elaboran en detalle. Parece que hay mucho espacio para una mayor investigación en este ámbito. Sin embargo, debido a la rápida evolución del área, podría no estar completamente claro qué incluir en los nuevos sistemas educativos, excepto el desarrollo de habilidades multidisciplinarias y de TIC en general. Es muy probable que los estudiantes de hoy trabajen en una rama industrial o de servicios que aún no existe o que no existía cuando comenzaron a asistir a la escuela (Maresova *et al.*, 2018).

Una gran parte de la discusión se centra también en el problema de la adopción de tecnología inteligente, la fabricación inteligente, la digitalización y la transformación digital de procesos industriales. Uno de los principales beneficios reconocidos es la capacidad de adaptarse más rápido al entorno que cambia rápidamente. Hirsch-Kreinsen (2016) ve a los adoptantes más prometedores de Industria 4.0 en las firmas de mediana escala fuertes de ingeniería mecánica o logísticas intensivas en tecnología con el personal calificado y las capacidades necesarias. Esto se debe a que los productores a gran escala ya han progresado mucho en tecnologías y organización de producción altamente automatizadas, particularmente en los sectores automotriz y electrotécnico. Dichas compañías podrían ser también cautelosas en la implementación de fabricación inteligente debido a cierto escepticismo sobre la eficiencia prometida por los sistemas inteligentes.

Además, la naturaleza descentralizada y automatizada de la autoorganización de los sistemas inteligentes está lejos de la estandarización actual de fabricación y procesos, de la cual las grandes compañías automotrices y electrotécnicas han estado obteniendo muchas ganancias hasta ahora (Maresova *et al.*, 2018). Sin embargo, el proceso de adopción no solo facilita la

mejora de la flexibilidad de producción, también hay incentivos económicos directos en costos y eficiencia que eventualmente podrían persuadir incluso a los adoptadores cautelosos. Como Petrillo *et al.* (2018) muestran, estos dos efectos económicos positivos están presentes para las empresas que han implementado sistemas de fabricación inteligentes. Independientemente del tamaño de la empresa, los estudios describen y destacan la creación de redes inteligentes de producción con sistemas ciber físicos. La principal ventaja vista, por ejemplo, es lograr cadenas de valor flexibles y abiertas en la fabricación de productos complejos de personalización masiva en series pequeñas, lo que no es posible con las formas de producción y la estructura organizacional actuales. Esto también está estrechamente relacionado con otra categoría: el cambio en los sistemas y procesos empresariales. En esta categoría, uno de los principales beneficios generales de la Industria 4.0 se ve en una mejor planificación y control general (Petrillo *et al.*, 2018).

El gobierno y sus políticas suelen desempeñar el papel de un elemento de apoyo necesario o un marco requerido que debería permitir, mejorar y promover el proceso de adopción de la Industria 4.0 de numerosas maneras. En particular, por ejemplo, Petrillo *et al.* (2018) menciona las siguiente políticas nacionales o regionales como importantes:

- Planes de educación que prestan mucha más atención a los temas de fabricación y ponen más énfasis en los idiomas extranjeros;
- Planes de inversión que alientan también a las empresas medianas a adoptar la Industria 4.0;
- Planes de educación centrados en informática y educación continua para los operadores de fábrica inteligentes;

- Políticas para abordar el problema de la estructura social debido a la baja tasa de natalidad, la inestabilidad de los ingresos, el desequilibrio laboral-familiar, etc.

Con respecto a las posibles consecuencias futuras en el área de la economía o de la manufactura, la Industria 4.0 puede contribuir significativamente a la tendencia continua en la cual una estructura de índices industriales convencionales ya no corresponde a la estructura del PIB, lo que sugiere que el mercado de valores ya no refleja la economía (Chovancova *et al.*, 2018). Según Kireeva & Tsoi (2018), la Industria 4.0 es un factor de crecimiento, ya sea por la adopción de tecnologías de fabricación por parte de las empresas existentes o por la formación de nuevas en la industria de TIC. Los hallazgos de Beier *et al.* (2017) sugieren que la transformación digital de la industria probablemente vaya acompañada de transformaciones sociales. Estas transformaciones sociales se reflejarán en el mercado laboral, donde el cambio de las necesidades del mercado generará cambios en los sistemas educativos, que es un aspecto muy citado de la Industria 4.0. Los cálculos realizados hasta ahora sobre la desaparición y la creación de empleos varían con respecto a la metodología utilizada (Hedvicakova, 2018). Osborne & Strokosch (2013) examinan qué tan susceptibles son los trabajos a la informatización. Tres variantes principales en el desarrollo de competencias profesionales son probables:

- El escenario de brecha creciente, en el que la brecha entre trabajadores poco calificados y altamente calificados continuará ampliándose significativamente;
- El escenario de actualización general, en el que la demanda de calificaciones más altas aumentará y, por lo tanto, todos deberán obtener calificaciones avanzadas.
- El escenario de enlace central, que enfatiza la necesidad de calificaciones más altas y habilidades relacionadas altamente especializadas en mano de obra calificada (Kagermann, *et al.*, 2013).

Como ya se mencionó, si algunas cualificaciones serán más o menos valiosas en el futuro, y en qué medida surgirán nuevas cualificaciones, depende, entre otras cosas, de qué tan rápido y en qué medida las empresas individuales implementarán la automatización y la interconexión de sus procedimientos y procesos en producción, servicios y ventas. Las competencias clave relevantes del futuro serán aquellas relacionadas con TIC, diseño y desarrollo de software, programas de aplicación y sistemas automatizados. Estas competencias implicarán no solo conocimientos básicos y la capacidad de usar dispositivos digitales, aplicaciones, Web 2.0 y cualquier herramienta electrónica, sino que también se requerirán habilidades orientadas al usuario (CAD: Diseño asistido por computadora, CRM: Gestión de relaciones con el cliente, ERP: Planificación de recursos empresariales) (National Institute for Education, 2018).

Junto con las calificaciones profesionales específicas y las competencias en TIC, las habilidades y competencias más generales también serán cada vez más importantes: habilidades de comunicación, habilidades sociales, habilidades organizativas, trabajo en equipo, trabajo en proyectos, pero también conciencia intercultural y habilidades lingüísticas (Maresova *et al.*, 2018). Por último, pero no menos importante, se espera que los trabajadores del futuro participen en la educación de por vida para avanzar en sus habilidades y permanecer abiertos a las innovaciones (National Institute for Education, 2018). El enfoque de la sociedad hacia el concepto de educación digital debería centrarse en nuevos programas de estudio interdisciplinarios para atender a la Industria 4.0 mediante la combinación de los campos de la ingeniería mecánica, la ingeniería electrónica y la tecnología de la información y el objetivo de desarrollar habilidades digitales en toda la sociedad, en conexión con la digitalización de la administración y los servicios del gobierno para los empleados, los desempleados y aquellos amenazados por el desempleo (Kuhnová, 2017).

## Conclusiones

Este documento presentó una revisión sobre los aspectos básicos de la Industria 4.0, específicamente se abordaron temas como los enfoques conceptuales para definirla; el significado del concepto de Industria 4.0; los desafíos, la visión, las características y las tecnologías digitales de la Industria 4.0. Además, también se desarrolló una revisión sobre el modelo de madurez y las implicaciones de política pública para la Industria 4.0. Se ha visto que el movimiento hacia la Industria 4.0 ha presentado conceptos nuevos y ha reconvertido otros igualmente relevantes. Esto arroja luces sobre una nueva perspectiva estratégica de la evolución industrial que enfrenta algunos cambios fundamentales y avances tecnológicos.

Sin embargo, el número relativamente reducido de estrategias evidenciadas para el caso de América Latina y de Colombia es una limitación de este trabajo. Esta carencia de información hace que un juicio genérico sea difícil de proponer en un contexto subcontinental y nacional donde aún no han comenzado la convergencia hacia la Industria 4.0. Una atención más exhaustiva de los casos de convergencia a la Industria 4.0 en los países del hemisferio sur, aún no evidenciados oficialmente, podría enriquecer este análisis.

A pesar de estas limitaciones, este análisis aporta a la consolidación de todo el concepto detrás de la Industria 4.0, particularmente en términos de adopción de nuevas tecnologías de fabricación. Además, este análisis provee una visión general de las tendencias de la Industria 4.0 para identificar y seguir sus principales estrategias de adopción. Estudios posteriores deberían abordar una muestra más amplia de casos evidenciados y considerar el impacto de la implementación de nuevas tecnologías en cada uno de los sectores de la economía.

## Referencias bibliográficas

Bartodziej, C. J. (2017). *The concept industry 4.0. An empirical analysis of technologies and applications in production logistics*. Berlin: Springer.

Baur, C. & Wee, D. (2015). *Manufacturing's next act*. McKinsey & Company.

Beier, G., Niehoff, S., Ziems, T. & Xue, B. (2017). Sustainability aspects of a digitalized industry – A comparative study from China and Germany. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4(2), 227-234.

Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York, USA: W.W. Norton & Company.

Chovancova, B., Dorocakova, M. & Malacka, V. (2018). Changes in industrial structure of GDP and stock indices also with regard to the Industry 4.0. *Business and Economic Horizons (BEH)*, Vol. 14, 402-414.

Deloitte (2017). *Forces of change: Industry 4.0*.

Đuričin, D. & Herceg, I. V. (2018). Industry 4.0 and Paradigm Change in Economics and Business Management. In: Ni, J. *et al.* (Eds.): AMP 2018, LNME, pp. 37–56

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Bangken, Nonthaburi, Thailand: Apress.

Hedvicakova, M. (2018). Unemployment and effects of the first work experience of university graduates on their idea of a job. *Applied Economics*, 50(31), 3357-3363.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2015). *Design Principles for Industry 4.0 Scenarios: A Literature Review*.

Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitization of industrial work: development paths and prospects. *Journal for Labour Market Research*, 49(1), 1-14.

Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Industrie 4.0 Working Group, Germany.

Kireeva, A. A. & Tsoi, A. A. (2018). Mechanisms for Forming IT-clusters as "Growth Poles" in Regions of Kazakhstan on the Way to "Industry 4.0". *Ekonomicheskie i Sotsialnye Peremeny*, (56), 212-224A.

Kuhnová, I. (2017). The Fourth Industrial Revolution Calls for Innovation in Education. Available at: <https://www.bozpinfo.cz/josra/ctvrta-prumyslova-revoluce-si-zada-inovace-ve-vzdelavani>

Kumar, S. A., Vealey, T. & Srivastava, H. (2016). Security in internet of things: Challenges, solutions and future directions. In 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (pp. 5772-5781). IEEE.

Lalic, B., Majstorovic, V., Marjanovic, U., Delić, M. & Tasic, N. (2017). The effect of Industry 4.0 concepts and e-learning on manufacturing firm performance: Evidence from transitional economy. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 298-305). Springer, Cham.

Löffler, M. & Tschiesner, A. (2013). The Internet of Things and the future of manufacturing. McKinsey & Company, 4.

Maresova, P., Soukal, I., Svobodova, L., Hedvicakova, M., Javanmardi, E., Selamat, A. & Krejcar, O. (2018). Consequences of Industry 4.0 in business and economics. *Economies*, 6(3), 46.

Martin, D., Engvall, D., Burke, K., Hodgkins, G., Franker, M. & Hooper, R. (2019). US SEC report calls for better internal accounting controls for cyber-related threats. *Journal of Investment Compliance*, 20(1), 5-9.

National Institute for Education. (2018). The Topics, National Institute for Education. Available at: <http://www.nuv.cz/our-work>

Osborne, S. P. & Strokosch, K. (2013). It takes Two to Tango? Understanding the Co-production of Public Services by Integrating the Services Management and Public Administration Perspectives. *British Journal of Management*, 24, S31-S47.

Petrillo, A., Felice, F. D., Cioffi, R. & Zomparelli, F. (2018). Fourth industrial revolution: Current practices, challenges, and opportunities. *Digital Transformation in Smart Manufacturing*, 1-20.

Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A. & Cevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0. In: Ustundag, A. and Cevikcan, E. (Ed). *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Berlín: Springer. Pág: 3 – 23.

Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M. & Wahlster, W. (eds.). (2017). Industry 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. Acatech STUDIE. Utz, Herbert, München.

Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution. Penguin Random House, U.K.

Shamim, S., Cang, S., Yu, H. & Li, Y. (2016). Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective. In 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (pp. 5309-5316). IEEE.

Sjøbakk, B. (2018). The Strategic Landscape of Industry 4.0. In: Moon, I., Lee, G. M., Park, J., Kiritsis, D. & von Cieminski, G. (Ed.) (2018). Advances in Production Management Systems: Smart Manufacturing for Industry 4.0, Frankfurt: Springer: pages 122 – 127.

Sony, M. & Naik, S. (2019). Ten Lessons for managers while implementing Industry 4.0. IEEE Engineering Management Review.

Sukhodolov, Y. A. (2019). The Notion, essence and peculiarities of Industry 4.0 as a sphere of industry. In: Popkova, E. G. *et al.* (2019). Industry 4.0: industrial revolution of the 21<sup>st</sup> century. Warsaw, Poland: Springer.

Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. Technological Forecasting and Social Change, 132, 40-45.

Tec. News. (2016). Harting Technology Group, 26.

Wiesner, S., Gaiardelli, P., Gritti, N. & Oberti, G. (2018). Maturity Models for Digitalization in Manufacturing - Applicability for SMEs. In: Moon, I., Lee, G. M., Park, J., Kiritsis, D. and von Cieminski, G. (Ed.) (2018). Advances in Production Management Systems: Smart Manufacturing for Industry 4.0, Frankfurt: Springer: pages 81 – 88.

Zeller, V., Hocken, C. & Stich, V. (2018). Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model. In: Moon, I., Lee, G. M., Park, J., Kiritsis, D. and von Cieminski, G. (Ed.) (2018). Advances in Production Management Systems: Smart Manufacturing for Industry 4.0, Frankfurt: Springer; pages 105 – 113.



El futuro digital  
es de todos

MinTIC

# Aspectos Básicos de la Industria | 4.0

Elaborado por la Oficina Asesora  
de Planeación y Estudios Sectoriales

Ministerio de Tecnologías de la  
Información y las Comunicaciones

República de Colombia

[www.mintic.gov.co/colombiatic](http://www.mintic.gov.co/colombiatic)

2019





**ANEP**



**UTU**

DIRECCIÓN GENERAL  
DE EDUCACIÓN  
TÉCNICO PROFESIONAL