
EL IMPACTO DE LAS ÚLTIMAS TECNOLOGÍAS EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA INDUSTRIA

INÉS GONZÁLEZ-GONZÁLEZ

Universidad Internacional de La Rioja

MARÍA PILAR MARTÍNEZ-RUIZ

JUAN JOSE BLAZQUEZ-RESINO

Universidad de Castilla La Mancha

Bajo el término Industria 4.0 se hace referencia a un paradigma en el que la organización pasa a ser una *organización inteligente*; y ello, fundamentalmente mediante la aplicación de sistemas y tecnologías de la información y comunicación avanzadas y orientadas al futuro (Čater *et al.*, 2021). En concreto, la Industria 4.0 implica la interconexión inteligente de máquinas y procesos para la industria basada en sistemas ciber físicos (en adelante CPS), una tecnología que consigue un control inteligente mediante sistemas integrados en red. De modo que la Industria 4.0 ha permitido avanzar el concepto de CPS hacia sistemas ciber físicos de producción (en adelante CPPS) (Xu *et al.*, 2021).

Así es que, frente a la Primera Revolución Industrial, que se caracterizó por la transición de los métodos de producción manuales a las máquinas accionadas por vapor o agua; la Segunda Revolución Industrial que, gracias a la electricidad, permitió la transformación de las fábricas en modernas líneas de producción que favorecieron una elevada productividad y un importante crecimiento económico; la Tercera Revolución Industrial que implicó la introducción de ordenadores y la transformación de las fábricas y las tecnologías utilizadas en el proceso de producción, resultando en la producción automatizada; la Cuarta Revolución Industrial o la también denominada Industria 4.0, introduce el concepto de *SmartFactory* en los sistemas de producción, en forma de CPPS, que pueden tomar decisiones inteligentes a través de la comunicación en tiempo real y la cooperación entre cosas de fabricación, lo que permite la producción flexible de productos perso-

nalizados de alta calidad con eficiencia masiva (Xu *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista técnico, la Industria 4.0 se describe a través de una mayor digitalización y automatización de la producción. Por tanto, este paradigma se centra en ofrecer soluciones en el entorno de producción basadas en tecnología digital. Se trata de recursos capaces de transformar la forma en que las empresas crean valor, además de una mayor comunicación, interconectando los mundos físico y virtual (Veile *et al.*, 2020). A pesar de que la Industria 4.0 está fuertemente centrada en la tecnología (Cimini *et al.*, 2020), su carácter interconectado sugiere que todo el potencial de la Industria 4.0 únicamente puede aprovecharse a través de las cadenas de valor de múltiples organizaciones y no en el entorno aislado de una sola organización (Veile *et al.*, 2020; Čater *et al.*, 2021). En este sentido, la

Industria 4.0 se caracteriza por tres dimensiones de integración (Pereira & Romero, 2017): horizontal, a través de redes de valor; vertical, mediante sistemas de fabricación conectados en red; y digital, de extremo a extremo hacia toda la cadena de valor en su conjunto.

En comparación con las tecnologías digitales más tradicionales y sencillas (intercambio electrónico de datos, paquetes de software administrativo, etc.), las tecnologías que componen la Industria 4.0 son significativamente más complejas, intensivas en conocimiento y están fuertemente integradas en los procesos centrales de las organizaciones (Kamble *et al.*, 2018; Čater *et al.*, 2021). Como características comunes de las mismas, es posible mencionar el uso de redes inalámbricas, la asistencia en la toma de decisiones y las interconexiones entre tecnologías individuales (Dos Santos *et al.*, 2021).

Sin duda, la adopción de las tecnologías que conforman la Industria 4.0 tanto en empresas como en la sociedad, en general, ha adquirido una mayor importancia y visibilidad (Lopes de Sousa *et al.*, 2018). Ello es debido a que los sistemas de producción tradicionales sufren ciertos desequilibrios ecológicos, y la cuarta revolución industrial puede abordar muchas de estas limitaciones, tanto sociales como ecológicas, que están en línea con la Agenda 2030. Lo que a su vez es capaz de ofrecer una posición competitiva a largo plazo para las empresas. No obstante, evaluar el impacto de las tecnologías de esta cuarta revolución resulta complejo, al igual que comprender su gran valor. Así, en un estudio realizado por McKinsey, se observó cómo la industria China mostraba un gran entusiasmo por la Industria 4.0, a pesar de que sólo el 57% de dichas empresas estaban preparadas para las tecnologías de la industria 4.0. Los mismos porcentajes se detectaron en otros países del entorno competitivo, como Estados Unidos (71%) y Alemania (68%), debido a variables como el desconocimiento del valor de tales tecnologías o por no estar preparados para su adopción.

A partir de estas ideas, este trabajo pretende contribuir a la investigación en esta línea de investigación ofreciendo una revisión de la literatura existente en esta línea del conocimiento. Para ello, en el siguiente epígrafe, se describe el marco conceptual en que se fundamenta la Industria 4.0 y sus implicaciones. Posteriormente, se exponen las tecnologías inteligentes que están ligadas a esta cuarta revolución y su utilidad en la Industria 4.0, lo que permite seguidamente incluir un apartado que recoge la tendencia hacia una colaboración humano-máquina (que es la base de la Industria 5.0). El artículo concluye mostrando las principales conclusiones que se derivan del análisis realizado.

INDUSTRIA 4.0 Y SUS IMPLICACIONES ↓

La Industria 4.0 puede considerarse una transformación industrial impulsada por la tecnología, sobre la

que es posible realizar ciertas consideraciones sobre los impactos previstos de la misma en torno a necesidades sociales tan importantes como la sostenibilidad o la centralidad humana (Xu *et al.*, 2021).

En lo que respecta a la sostenibilidad, la Industria 4.0 pretende abordar retos como la eficiencia energética y de recursos, la producción urbana, las necesidades de la sociedad y el cambio demográfico (Kagermann *et al.*, 2013). De forma que, mediante la introducción de cambios en los procesos de fabricación y en el diseño de la maquinaria y las instalaciones, sea posible reducir el consumo de energía y de recursos (Xu *et al.*, 2021).

En relación a la centralidad humana, es posible que la Industria 4.0 no se considere una iniciativa centrada en el ser humano, pero incluye aspectos tan relevantes como la cooperación humano-máquina (las tecnologías de asistencia al operador), el enfoque sociotécnico y el equilibrio entre la vida laboral y personal. La Industria 4.0 promueve nuevas infraestructuras sociotécnicas mediante la transformación de diferentes aspectos de un lugar de trabajo, como la gestión de la salud y la organización del trabajo, el aprendizaje permanente y los modelos de trayectoria profesional, las estructuras de equipo y la gestión del conocimiento. Esto se describe como un enfoque sociotécnico que conduce a un cambio de paradigma en las interacciones humano-tecnología y humano-entorno (Kagermann *et al.*, 2013). Se prevé que el papel del trabajador cambie significativamente debido al mayor uso de tecnologías más abiertas, virtuales y extensivas. Esto se refleja en algunos de los principios de diseño de la Industria 4.0, como el creciente uso de tecnologías tales como los sistemas asistidos por robots y la realidad aumentada, con el fin de proporcionar a los trabajadores información en tiempo real capaz de mejorar los procesos de toma de decisiones y los procedimientos de trabajo (Villani *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2021).

Los sistemas de asistencia inteligentes liberan a los trabajadores de tareas rutinarias para que puedan centrarse en actividades más creativas y de valor añadido. Se fomenta la organización flexible del trabajo para que todos los trabajadores puedan seguir desarrollándose profesionalmente de forma más eficaz, de forma que puedan alcanzar un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal. Las tecnologías consideradas también permitirán a los trabajadores de más edad prolongar su vida laboral y seguir siendo productivos durante más tiempo (Kagermann *et al.*, 2013). No en vano, se espera que en una fábrica inteligente el papel de los empleados cambiará significativamente. La aplicación de un enfoque sociotécnico a la organización del trabajo ofrecerá a los empleados la oportunidad de disfrutar de una mayor responsabilidad, a la vez que mejoran su desarrollo personal (Kagermann *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2021).

El enfoque sociotécnico de la Industria 4.0 persigue el lema *mejor, no más barato*, lo que implica que

adoptar una versión extrema del enfoque taylorista de la organización del trabajo basado en la repetición frecuente de tareas muy estandarizadas y monótonas no es la forma más prometedora de implantar la Industria 4.0. El hecho de que las fábricas inteligentes vayan a configurarse como sistemas altamente complejos, dinámicos y flexibles significa que se necesitarán empleados capacitados para actuar como responsables de la toma de decisiones y controladores (Xu *et al.*, 2021).

TIPOS DE TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA 4.0 ↓

La Cuarta Revolución Industrial ha traído consigo un conjunto de tecnologías que han conseguido transformar el trabajo y el funcionamiento de los procesos industriales. Aunque las tecnologías avanzadas son un elemento fundamental de esta revolución, ésta no se centra en una o varias tecnologías específicas, sino que su objetivo principal es, precisamente, desarrollar productos y procesos inteligentes (Yavari & Pilevari, 2020).

En general, existe abundante literatura sobre las tecnologías clave de la Industria 4.0; sin embargo, cómo sugieren Čater *et al.* (2021), aunque la mayor parte de la bibliografía no distingue entre *niveles de tecnologías* de la Industria 4.0, existen diferentes clasificaciones basadas en el desarrollo de cada tecnología y su aplicación (Oztemel y Gursev, 2020). Sobre este particular, Pereira y Romero (2017) distinguen entre aquellas tecnologías enfocadas en el desarrollo de productos inteligentes (*smart products*), que poseen características fundamentales como la computación, el almacenamiento de datos, la comunicación y la interacción con su entorno; y las centradas en los procesos desarrollados por las fábricas inteligentes (*smart factories*) y la transformación de los sistemas de fabricación convencionales a través de una intercomunicación integradora entre todos los recursos (sensores, transportadores, máquinas, robots, etc.).

Por otro lado, Ghobakhloo y Ching (2019) distinguen entre *tecnologías de segundo nivel* (sistemas CPS, Internet de las Cosas, IoT en adelante de *Internet of Things*) y de *primer nivel* (resto de tecnologías). A pesar de que las tecnologías de primer nivel necesitan interactuar entre sí para ofrecer todas sus funcionalidades, pueden funcionar de forma independiente. Por el contrario, las tecnologías de segundo nivel no son *productos listos para usar* porque su uso depende de la implementación de varias combinaciones de tecnologías de primer nivel. De manera similar, Frank *et al.* (2019) dividen las tecnologías de la Industria 4.0 en dos niveles distintos en función de su objetivo principal. Las tecnologías de primer nivel (*smart factories*, *smart products*, cadena de suministro inteligente, trabajo inteligente) se ocupan de las necesidades operativas y de mercado y tienen una finalidad de aplicación final para la cadena de valor de las empresas. Las tecnologías de base (IoT, nube, macrodatos y análisis) incluyen tecnologías

que proporcionan conectividad e inteligencia a las tecnologías frontales.

Por su parte, Bai *et al.* (2020) señalan cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden agruparse en físicas y digitales, donde las tecnologías físicas se emplean en la fabricación, mientras que las tecnologías digitales hacen referencia a las tecnologías de la información y la comunicación, como la computación en la nube, *blockchain* y la simulación, entre otras (Liao *et al.*, 2017).

En definitiva, se observa cómo en general no existe un consenso claro en la literatura sobre cómo agrupar las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 (Dalenogare *et al.*, 2018). Sin embargo, las tecnologías que se analizan con frecuencia en la Industria 4.0 están relacionadas, aunque no limitadas, con las siguientes tecnologías (Lee *et al.*, 2015; Pereira y Romero, 2017; Bai *et al.*, 2020; Rymarczyk, 2020; Zhou *et al.*, 2015; Bortolini *et al.*, 2017; Yavari y Pilevari, 2020);

Sistemas Ciber Físicos (CPS) y Robótica ↓

Los sistemas CPS representan uno de los avances principales en el desarrollo tecnológico y de la información en la Industria 4.0. Lee *et al.* (2015) las consideran aquellas tecnologías innovadoras que permiten la gestión de sistema interconectados a través de la integración de sus entornos físicos y computacionales. Se pueden describir como un sistema integrado que intercambia datos en una red inteligente que controla la producción (Pereira y Romero, 2017). Es decir, se trata de sistemas que establecen la interacción entre el entorno físico y el virtual, de manera que se integran, controlan y coordinan procesos y operaciones, utilizando de manera simultánea el acceso y procesamiento de datos.

Su funcionamiento se establece de la siguiente forma. Una serie de sensores inteligentes adquieren datos precisos y fiables, a través de diferentes dispositivos, que se transforman en información significativa que se almacena en un sistema central. De esta forma, se desarrollan análisis específicos que permiten generar un conocimiento exhaustivo del sistema monitorizado, sirviendo de apoyo al proceso de toma de decisiones de los usuarios expertos (Bortolini, 2017).

En el ámbito industrial, los CPS permiten la integración vertical y horizontal de los sistemas informáticos y la interconexión de toda la cadena de valor, producción, logística y servicios, lo que hace posible alcanzar una transformación industrial (la anteriormente descrita como CPPS) que, aplicada a la producción, desempeña un papel importante al conectar todos los niveles de producción mediante elementos autónomos y cooperativos (máquinas inteligentes) y subsistemas (Francalanza *et al.*, 2017).

Dentro de los CPS se encuentran los robots avanzados, que combinan la inteligencia artificial con elementos físicos, y tienen la capacidad de comu-

nicarse, corregir sus actividades de producción sin necesidad de reprogramación completa (sobre la base de información descargada en la nube) y cooperar de forma segura (Rymarczyk, 2020). En la industria, la robótica se utiliza para mejorar la productividad y la eficiencia, así como para reducir los riesgos laborales. En la fabricación, los robots se utilizan para realizar tareas repetitivas, peligrosas o de alta precisión, mientras que en la logística, los robots se utilizan para la gestión de inventarios, el transporte de productos y la entrega de paquetes. Un caso especial son los robots colaborativos o *cobots* (Bai *et al.*, 2020; Yavari y Pilevaria, 2020), que representan una generación de robots industriales que cooperan activamente con los humanos en función del apoyo que sea necesario (Bortolini 2017).

Internet De Las Cosas (IoT) ↓

Un CPS conectado a Internet se conoce como el IoT. De forma más específica, el IoT hace referencia a una infraestructura global que permite servicios avanzados a través de la interconexión de objetos físicos. La conexión mediante sensores, software y otras tecnologías tiene la capacidad transmitir y recibir datos con el objetivo de ofrecer información a los usuarios y automatizar determinadas acciones o decisiones (Pereira y Romero, 2017).

Por tanto, el IoT permite dotar de inteligencia a objetos cotidianos, lo que hace posible no sólo recoger información e interactuar con el entorno, sino también la interconexión con otros objetos para el intercambio de datos y el desarrollo de diferentes acciones en Internet (Borgia, 2014). La implementación de IoT requiere del desarrollo de una serie de tecnologías, como sensores infrarrojos, dispositivos de telecomunicaciones (WIFI, etiquetas RFID, NFC), sistemas de posicionamiento, y otros dispositivos de detección de información (Yavari y Pilevari, 2020).

El IoT ofrece una oportunidad importante para mejorar los procesos industriales (Bai *et al.*, 2020). La información proveniente del IoT se genera, recopila y aprovecha en prácticamente todos los procesos industriales, que tienden a ser cada vez más eficientes, autónomos y personalizables, permitiendo la creación de smart factories (Shariatzadeh, *et al.*, 2016). En los procesos de fabricación los sensores pueden detectar, o incluso prever, diferentes problemas en el desarrollo de tales procesos, además de recopilar y analizar datos operativos. A nivel logístico, la aplicación de soluciones IoT permite optimar las operaciones de extremo a extremo, facilitando la monitorización desde el suministro de materias primas hasta la entrega en tiempo real.

Inteligencia Artificial (IA) ↓

La *Inteligencia Artificial* (IA), también denominada inteligencia de las máquinas (Rymarczyk, 2020), es la capacidad de los dispositivos de percibir el entorno,

predecir resultados y tomar decisiones de manera autónoma, de forma que se puedan maximizar las probabilidades de éxito.

Los sistemas de IA tratan de imitar la inteligencia humana y utilizan la inteligencia adaptativa y colectiva para extraer información útil cuando sea necesario. Ofrecen un amplio espectro de posibilidades debido a la gran cantidad de herramientas que generan, entre las que destacan el *Procesamiento del lenguaje natural* (PLN), *Aprendizaje Automático* (*Machine Learning*) y el *Deep Learning* (Zhou *et al.*, 2015).

La IA también puede aplicarse en todas las fases industriales y de la cadena de suministro, cambiando radicalmente el modelo empresarial. Entre sus múltiples utilidades, cabe destacar que permite adquirir conocimiento y analizarlo, reconocer la voz y las personas o tomar decisiones (Lee *et al.*, 2018). En la fabricación. Los sistemas de IA pueden optimizar la planificación de la producción, resolver problemas técnicos en menor tiempo, reducir los tiempos de inactividad y mejorar la calidad de los productos. En el ámbito de la logística, la IA se utiliza para personalizar la experiencia del cliente y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro.

Computación en la Nube ↓

Para almacenar y analizar los enormes conjuntos de datos típicos de los componentes de la Industria 4.0, se utiliza un modelo informático denominado computación en la nube o *Cloud*. Cloud es un sistema de infraestructura digital que ofrece servicios de almacenamiento de datos, seguridad, aplicaciones software e inteligencia de negocios en múltiples servidores compartidos mediante tecnologías de virtualización (Bortolini, 2017), ofrecidos por proveedores especializados. Las nubes pueden ser: públicas, cuando los servicios son prestados por proveedores externos (e.g., Microsoft Azure); privadas, cuando los recursos de la nube son utilizados por una empresa; e híbridas, cuando combinan nube pública y privada.

Es posible identificar cuatro categorías básicas de servicios Cloud (Rymarczyk, 2020): infraestructura (servidores, redes, sistemas operativos); plataformas (entornos para desarrollar, probar, descargar y gestionar aplicaciones); y procesamiento de la información sin servidor y software. El usuario se limita a utilizar los recursos en función de las necesidades de la aplicación, confiando en el acceso bajo demanda a ordenadores y sistemas de almacenamiento (Zhou *et al.*, 2015).

La computación en la nube conlleva algunos retos, como son la alta latencia o la incoherencia de algunas tecnologías. Por ello, han surgido nuevas extensiones, como son la *Fog* y *Edge Computing*, para superar estas limitaciones. Fog Computing se basa en el uso de redes locales en lugar de centrales, permitiendo que la comunicación y el almacenamiento esté más próximo al usuario final; mientras que Edge Computing permite procesar los datos genera-

dos por dispositivos inteligentes o sensores utilizando el propio dispositivo o un ordenador cercano.

Desde la perspectiva industrial, la computación en la nube se ha convertido en un elemento importante, debido a la creciente necesidad de gestionar las cantidades masivas de datos obtenidos de las distintas plataformas de red (Jagatheesaperumal *et al.*, 2021). La computación en la nube se utiliza para mejorar la eficiencia y la flexibilidad, así como para reducir los costes de infraestructura. Entre sus ventajas se incluyen el almacenamiento en servidores compartidos, el bajo coste de alojamiento y gestión de datos, lo que permite obtener beneficios derivados de una economía de escala y un mejor uso total de los equipos, optimizando los costes de infraestructura y almacenamiento. Además, el uso de la tecnología en la nube elimina la necesidad de incurrir en gastos para la compra de hardware y software, lo que reduce el consumo de actividades de gestión de las tecnologías.

Big Data y Análisis Avanzado

La combinación del uso de IoT y *Cloud* permite conectar diferentes equipos y sistemas de producción o sistemas de gestión, lo que supone la generación de una gran cantidad de datos que deben ser recopilados y analizados de forma constante para la mejora de los procesos de toma de decisiones. En este sentido, el Big Data hace referencia a la estrategia de análisis de datos que se utiliza cuando son conjuntos tan grandes, diversos o complejos que no pueden ser procesados con las aplicaciones de software tradicionales y, por tanto, no es posible descubrir las ideas y el significado subyacentes (Bai *et al.*, 2020). Para ser calificados como Big Data, los datos deben estar definidos por las 4 V's (Gantz y Reinsel, 2011): Volumen, Velocidad, Variedad y Valor. Esta tecnología, junto con la minería de datos y las técnicas de análisis de datos, mejora el análisis de datos y su uso en los procesos de producción, conduciendo a la optimización de procesos y a la reducción de costes. Los datos y el análisis avanzado pueden utilizarse en la gestión de la producción para aumentar la eficacia, reducir los costes, acortar los ciclos de producción, reducir las pérdidas, determinar y prevenir las causas de los fallos y aumentar la innovación de los productos.

Fabricación Aditiva o Impresión 3D

La *Impresión 3D* o *Fabricación Aditiva* consiste en la conversión de un modelo digital en un elemento físico tridimensional. Esta tecnología permite minimizar el desperdicio de material y energía, lo que supone una optimización de los costes. Sobre la base de un diseño digital, se pueden fabricar productos con formas muy complejas, compuestos por una sola pieza; mientras que la producción tradicional puede requerir el ensamblaje y la soldadura de muchos elementos. Además, los materiales utilizados pue-

den ser muy variados, desde termoplásticos, cerámicos, vidrios, o incluso productos alimenticios. Además, dado que la producción tradicional requiere de un proceso costoso de preparación de moldes o matrices, la impresión 3D acorta significativamente el ciclo de producción al eliminar esta etapa.

La aplicación de esta tecnología a la fabricación industrial aumenta la eficiencia, creando fácilmente una versión revisada del producto. Asimismo, promueve el enfoque de fabricación distribuida y flexible, así como la estrategia de fabricación bajo pedido según los deseos del cliente. De esta forma, debido a su bajo precio, facilidad de uso y bajo coste de transporte, la impresión 3D tiene una aplicación especial en la personalización de productos. La impresión 3D también permite la fabricación local, lo que reduce los costes de envío y reduce los tiempos de espera.

Otras tecnologías

Sin ánimo de exhaustividad, es importante recoger en esta apartado otras tecnologías relacionadas con la orientación de la Industria 4.0. En este sentido, en primer lugar se encuentra la *realidad aumentada*. Se trata de un sistema que permite conectar en tiempo real con un mundo virtual. Puede desarrollarse mediante dispositivos móviles, como smartphones y tabletas, cascos o gafas especiales, y otros dispositivos especiales (*head-up displays*). Su uso más popular se encuentra en los videojuegos, aunque también tiene aplicación en el diseño industrial y la construcción. En particular, en la industria, se utiliza en casos como la selección de piezas de almacén y las instrucciones de mantenimiento de dispositivos y equipos móviles, además de simular situaciones reales para formar a los trabajadores.

Por otro lado, en un contexto de hiperconexión, es necesario asegurar que las comunicaciones entre sistemas sean seguras y fiables. En este sentido, la *ciberseguridad* trata de garantizar la protección frente a posibles robos o la destrucción de información, evitando posibles alteraciones en los procesos de producción, defectos de calidad en los productos o un cierre total debido a ciberataques (Thames y Schaefer, 2017). De la misma forma, *Blockchain* se configura como otro enfoque de tecnología digital que ha surgido bajo el paraguas de la Industria 4.0 y tiene muchas aplicaciones en diversos sectores. La tecnología *blockchain* puede utilizarse para mejorar y garantizar un mayor rendimiento de diferentes aspectos de los sistemas de la cadena de valor, como los de seguridad, calidad y trazabilidad de los alimentos.

LA VENTAJA DEL CAPITAL HUMANO EN LA INDUSTRIA 4.0: LA INDUSTRIA 5.0

Hasta ahora se ha ofrecido una exposición de las tecnologías inteligentes de la Industria 4.0, tecnolo-

gías que fomentan la eficiencia, la productividad y los sistemas CPS (Cortés *et al.*, 2017), en los que la fabricación y las cadenas de suministros se encuentran en el centro. Si a esta transformación digital le añadimos una colaboración más significativa humano-máquina, es posible entonces mencionar la denominada Industria 5.0.

La industria 5.0. surge a raíz del Informe que realizó la Comisión Europea (2020) *Industry 5.0. Towards a sustainability human centric and resilient European Industry*, el cual está basado en la experiencia de la Industria 4.0 (donde el foco de atención está centrado en los problemas y en las necesidades a corregir de la misma) y el impacto de la Covid-19 (Bueno *et al.*, 2022). En este sentido, la Industria 5.0 no es una quinta revolución industrial como tal, si no que se trata de un impulso a las tecnologías que conforman la Industria 4.0. Así, lo que se pretende es una transformación de la industria 4.0 en la 5.0 desde un enfoque más humano, sostenible y resiliente. Es decir, una mayor colaboración humano-máquina.

En virtud de esta colaboración, se lograría reducir parcialmente la amenaza de la destrucción de puestos de trabajo ya que se crearían también otros empleos acordes con este nuevo rol colaborativo, donde el trabajador puede estar más focalizado en la innovación. Además, esta colaboración puede resultar en la sostenibilidad, una fabricación más sostenible mediante el uso de recursos renovables menos contaminantes y la eliminación de la sobreproducción. Estas implicaciones son susceptibles a la generación de una empresa resiliente, con estructuras ágiles y flexibles.

CONCLUSIONES

Con el fin de contribuir a la investigación sobre tecnologías en el ámbito industrial, en este trabajo se lleva a cabo una revisión de la literatura relevante en este campo del conocimiento. Con este propósito, se ofrece en primer lugar un marco conceptual en el que se analiza el concepto de Industria 4.0 y sus implicaciones. Para ello, se ha considerado cómo las diversas revoluciones industriales han ido surgiendo con el devenir de los tiempos por el desarrollo de diversos sistemas de tecnologías innovadores, cuya irrupción en los distintos escenarios históricos ha ido contribuyendo a modificar de forma significativa las formas industriales de producción existentes en cada momento, lo cual ha ido resultando en numerosas implicaciones a nivel económico y social. De este modo, en lo que respecta la industria 4.0, cabe mencionar la incorporación de múltiples tipos de tecnologías de la información y de la fabricación capaces de transformar la producción y las relaciones entre los distintos grupos de interés clave, especialmente, a partir de la interconexión inteligente de máquinas y procesos para la industria basada en CPS y CPPS.

Este análisis permite plantear a continuación una síntesis de las tecnologías principales que se están em-

pleando en esta industria, entre las que aparte de los CPS, cabe mencionar la robótica, el IoT, la IA, la computación en la nube, el big data y análisis avanzado, la impresión aditiva o fabricación 3 D, aparte de otro tipo de tecnologías como la realidad aumentada o el blockchain. Se trata de tecnologías que permiten entrever la tendencia que está surgiendo como resultado de la evolución de dicha industria, a partir de la colaboración humano-máquina que estas tecnologías están facilitando y que pueden suponer la base para la aparición de la Industria 5.0 como parte de la evolución de la Industria 4.0.

REFERENCIAS

- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *Ifac-Papersonline*, 50(1), 5700-5705. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>
- Bueno E., Morcillo, P., y Rubio, L. (2022). Estrategia corporativa para responder al resto de la organización 5.0.: El paper de la cultura de innovación abierta. Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas, Oporto, Portugal.
- Čater, T., Čater, B., Černe, M., Koman, M. and Redek, T. (2021), «Industry 4.0 technologies usage: motives and enablers», *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32 No. 9, pp. 323-345. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0026>
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Comisión Europea (2020): *Industry 5.0.: Towards a sustainable human centric and resilient European Industry*, Brussels, European Commission.
- Cortés, C. B. Y., Landeta, J. M. I., Chacón, J. G. B., Peireyra, F. A., & Osorio, M. L. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia tecnológica*, (54). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal Of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Dos Santos, L. M. A. L., da Costa, M. B., Kothe, J. V., Benitez, G. B., Schaefer, J. L., Baierle, I. C., & Nara, E. O. B. (2021). Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(2), 245-265. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2020-0156>
- Francalanza, E., Borg, J., & Constantinescu, C. (2017). A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Computers in Industry*, 84, 39-58. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.08.001>

- Frank, A. G., Mendes, G. H., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014>
- Gantz, J., & Reinsel, D. (2011). Extracting value from chaos. *IDC iView*, 1142(2011), 1-12.
- Ghobakhloo, M., & Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100107>
- Jagatheesaperumal, S. K., Rahouti, M., Ahmad, K., Al-Fuqaha, A., & Guizani, M. (2021). The duo of artificial intelligence and big data for industry 4.0: Applications, techniques, challenges, and future research directions. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(15), 12861-12885. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3139827>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion: Berlin, Germany.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270, 273-286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Ramya, A., & Vanapalli, S. L. (2016). 3D printing technologies in various applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(3), 396-409.
- Rymarczyk, J. (2020). Technologies, opportunities and challenges of the industrial revolution 4.0: theoretical considerations. *Entrepreneurial Business And Economics Review*, 8(1), 185-198.
- Thames, L., Schaefer, D. (2017). Industry 4.0: An Overview of Key Benefits, Technologies, and Challenges. En Thames, L., Schaefer, D. (eds) *Cybersecurity for Industry 4.0*. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_1
- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2020). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977-997.
- Villani, V., Sabattini, L., Barańska, P., Callegati, E., Czerniak, J. N., Debbache, A., ... & Fantuzzi, C. (2020). The INCLUSIVE system: A general framework for adaptive industrial automation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18(4), 1969-1982. <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.3027876>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Yavari, F. and Pilevari, N. (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2), 44-63.
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. En *12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)*, pp. 2147-2152. IEEE. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>
- Zhou, Y., Zhang, D., & Xiong, N. (2017). Post-cloud computing paradigms: a survey and comparison. *Tsinghua Science and Technology*, 22(6), 714-732. <https://doi.org/10.23919/TST.2017.8195353>