



Administración de inventarios en Industria 4.0 un desafío para las pequeñas y medianas empresas- PYMEs

Inventory management in Industry 4.0 a challenge for small and medium-sized companies- SMEs

Gestão de Inventários na Indústria 4.0 um desafio para as pequenas e médias empresas – PME

Alcides Napoleón García-Flores ^I
an_garcia@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6883-7067>

Julio César Moyano-Alulema ^{II}
j_moyano@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6672-9409>

Ángel Geovanny Guamán-Lozano ^{III}
a_guaman@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5145-6994>

Correspondencia: an_garcia@epoch.edu.ec

Ciencias Económicas y Empresariales
Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de diciembre de 2020 ***Aceptado:** 20 de enero de 2021 * **Publicado:** 10 de febrero de 2021

- I. Ingeniero en Marketing, Magister en Pequeñas y Medianas Empresas Mención Finanzas, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Licenciado en Ciencias de La Educación Profesor de Enseñanza Media en la Especialización de Matemática y Física, Ingeniero Industrial, Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero Industrial, Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El enfoque de Industria 4.0 combina la producción, la tecnología de la información e Internet, así las tecnologías de la información y la comunicación más novedosas se adaptan en la Industria 4.0 con los procesos industriales tradicionales.

La presente investigación presenta un análisis documental sobre la administración de inventarios en la industria 4.0 y como la misma representa un desafío para las pequeñas y medianas empresas. La metodología de investigación fue a través de una revisión documental, con un enfoque cualitativo y descriptivo, los instrumentos de recolección de datos fueron: entrevista y encuesta. Se determinó como la industria 4.0 influye de manera positiva no solo en las grandes empresas, sino también en las pequeñas y medianas, pero un limitante grande para las PYMEs es la inversión. Se concluyó que las PYMEs requieren estructuras organizativas flexibles para adaptarse a los cambios que genera la industria 4.0.

Palabras claves: Administración de inventarios; industria 4.0; PYMEs.

Abstract

The focus of Industry 4.0 is to combine production, information technology and the Internet, thus the most innovative information and communication technologies are combined in Industry 4.0 with traditional industrial processes, the present research aims to carry out an analysis Documentary on inventory management in Industry 4.0 and how it represents a challenge for small and medium-sized companies. The research was documentary, with a qualitative and descriptive approach, the data collection instruments were: interview and survey. It was determined how industry 4.0 positively influences not only large companies, but also small and medium-sized ones, but a major limitation for SMEs is investment. It was concluded that SMEs require flexible organizational structures to adapt to the changes generated by Industry 4.0.

Keywords: Inventory management; industry 4.0; SMEs.

Resumo

El enfoque de Industria 4.0 combina la producción, la tecnología de la información e Internet, assim como as tecnologias de la información y la comunicación más novedosas se adaptan en la Industria 4.0 con los procesos industriales tradicionais.

A presente investigação apresenta uma análise documental sobre a administração de inventários na indústria 4.0 e como a mesma representa um desafio para las pequeñas y medianas empresas. La metodología de investigación fue a través de una revisión documental, con un enfoque cualitativo y descriptivo, los instrumentos de recolección de datos fueron: entrevista y encuesta. Se determinó como la industria 4.0 influye de manera positiva no solo en las grandes empresas, sin también en las pequeñas y medianas, pero un limitante grande for las PYMEs es la inversión. Veja que as PYMEs requerem estruturas organizativas flexibles para adaptarse aos cambios que genera la industria 4.0.

Palavras-chave: Administración de inventarios; industria 4.0; PYMEs.

Introducción

En los últimos años, el entorno industrial ha ido cambiando radicalmente debido a la introducción de conceptos y tecnologías basados en la cuarta revolución industrial (Sendler, 2013). El enfoque de Industria 4.0 es combinar la producción, la tecnología de la información e Internet, así las tecnologías de la información y la comunicación más novedosas se combinan en la Industria 4.0 con los procesos industriales tradicionales (BMBF, 2012). En los últimos años, la economía mundial se ha convertido en un fuerte competidor para la industria en Europa y el mundo, ya no basta con producir más rápido, más barato y con mayor calidad que la competencia, defendiendo la ventaja competitiva lograda. La industria necesita introducir nuevos tipos de estrategias de producción innovadoras y "digitales" para mantener la ventaja competitiva actual a largo plazo (Manhart, 2013).

La cuarta revolución industrial debería extenderse a toda la cadena de producción y suministro de componentes y no solo, como en revoluciones pasadas, al proceso de fabricación mecánica de productos y la organización del proceso asociado. El desarrollo de la Industria 4.0 debería proporcionar una contribución para abordar los desafíos globales, como la sostenibilidad, la eficiencia energética y de recursos, y fortalecer la competitividad (Kagermann et al., 2013). En todo el ciclo de vida de la producción, el intercambio de datos debe mejorarse y generar ventajas para todas las partes involucradas. Se obtienen más funcionalidades y opciones de personalización para el cliente y más flexibilidad, transparencia y globalización para la cadena de suministro (Baum, 2013). Por lo tanto, para seguir siendo competitivo, debe aumentar la

capacidad de responder a los requisitos del cliente de manera rápida y flexible y de producir números de versión altos con tamaños de lote bajos (Spath et al., 2013). La Industria 4.0 tiene como objetivo implementar procesos de fabricación altamente eficientes y automatizados, generalmente conocidos de la producción en masa, también en un entorno industrial, donde los productos individuales y específicos del cliente se fabrican de acuerdo con estrategias de personalización masiva (Modrak et al., 2014).

La personalización masiva significa la producción de productos personalizados por el cliente, a costos de producción similares a los de los productos producidos en masa. Una producción, basada en el principio de Industria 4.0, crea las condiciones para reemplazar las estructuras tradicionales, que se basan en mecanismos centralizados de toma de decisiones y límites rígidos de pasos individuales de valor agregado. Estas estructuras son reemplazadas por sistemas de logística y fabricación reconfigurables y flexibles, que ofrecen mecanismos de toma de decisiones interactivos y colaborativos (Spath et al., 2013). En los últimos años, un número creciente de autores ha abordado el tema de la Industria 4.0 para las PYMEs en sus trabajos científicos (Matt et al., 2016; Bär et al., 2018; Türkeş et al., 2019). Además, la Comisión Europea (CE) apoya activamente a las PYME proporcionándoles apoyo financiero directo y apoyo indirecto para aumentar su capacidad de innovación a través de Horizonte 2020. Por lo tanto, respaldando la estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente y sostenible, la CE apoya la investigación, el desarrollo - proyectos de innovación y desarrollo con el objetivo de crear un ecosistema para la innovación y el desarrollo de las PYMEs. Debido a su flexibilidad, espíritu emprendedor y capacidades de innovación, las PYMEs han demostrado ser más robustas que las grandes empresas multinacionales, como lo demostró la crisis económica y financiera anterior (Matt, 2007; Matt et al., 2016). Por lo general, las PYMEs no solo se adaptan e innovan en términos de sus productos, sino también en términos de sus prácticas de fabricación. Reconociendo las continuas presiones competitivas, las pequeñas organizaciones se están volviendo cada vez más proactivas en la mejora de sus operaciones comerciales (Boughton y Arokiam, 2000), lo que es un buen punto de partida para introducir nuevos conceptos como Industria 4.0.

La implementación exitosa de la Industria 4.0 debe tener lugar no solo en las grandes empresas sino, en particular, en las PYMEs (Sommer, 2015). Las tecnologías de la Industria 4.0 ofrecen grandes oportunidades para que el sector de las PYMEs mejore su competitividad. Es más probable que las mismas sean las grandes ganadoras del cambio; a menudo son capaces de

implementar la transformación digital más rápidamente que las grandes empresas, porque pueden desarrollar e implementar nuevas estructuras de tecnologías de la innovación desde cero con mayor facilidad (Deloitte, 2015). Muchas pequeñas y medianas empresas ya se están enfocando en productos digitalizados para destacarse en el mercado, la integración de la tecnología de la información y la comunicación (TIC) y las tecnologías modernas de la Industria 4.0 transformaría las fábricas de PYMEs actuales en fábricas inteligentes con un potencial económico significativo (Lee y Lapira, 2013; Gualtieri et al., 2018). La Industria 4.0 representa un desafío especial para las empresas en general y para las PYMEs en particular, la disposición de ellas adaptadas a los conceptos de la Industria 4.0 y la capacidad organizativa de las mismas para afrontar este desafío existen sólo en parte. Cuanto más pequeñas son las PYMEs, mayor es el riesgo de que no puedan beneficiarse de esta revolución.

La introducción de la Industria 4.0 a menudo muestra dificultades y conduce a titulares como "la mayoría de las empresas de producción de PYMEs no están todavía preparadas para la Industria 4.0", "Las PYMEs están perdiendo las tendencias del futuro" o "Industria 4.0 no ha llegado a las PYMEs" (Olle y Claus, 2015). Se necesitan investigaciones e investigaciones especiales para la implementación de tecnologías y conceptos de la Industria 4.0 en las PYMEs. Las mismas solo alcanzarán la Industria 4.0 siguiendo estrategias y enfoques de implementación personalizados para ellas y realizando conceptos y soluciones tecnológicas adaptados a las PYMEs. De lo contrario, el esfuerzo real de sensibilización y concienciación para la Industria 4.0 no mostrará el éxito y los resultados esperados.

Bajo este contexto el presente artículo tiene como objetivo realizar un análisis documental sobre la administración de inventarios en la industria 4.0 y como la misma representa un desafío para las pequeñas y medianas empresas.

Metodología

El presente artículo se elaboró con un enfoque cualitativo y descriptivo, desarrollando un fundamento teórico que tiene un objetivo sobre los elementos que sirven como marco de referencia de investigación. Argumentando lo anterior, se muestra la aplicación de un estudio documental, permitiendo recolectar, seleccionar, organizar y analizar sobre un tema de investigación específico en base a fuentes fundamentadas como libros, artículos, tesis, etc.

Al referirse sobre investigación documental, se centra a la selección de un tópico especial con abordaje amplio, con una investigación de tipo exploratoria y descriptivo; por ello, las variables de estudio tienen un diseño transversal, aplicando los métodos deductivo e inductivo, para posteriormente elaborar las conclusiones.

Resultados

Origen y caracterización de la industria 4.0

En el año 2011, el grupo alemán de científicos Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) presentó por primera vez el término "Industrie 4.0" durante la Feria de Hannover, símbolo del comienzo de la cuarta revolución industrial. La cuarta revolución industrial puede describirse como la introducción de las TIC modernas en la producción. A finales del siglo XVIII, se inició la primera revolución industrial al inventar la máquina y así reemplazar la fuerza muscular. Con el desarrollo de las naciones industriales alrededor del año 1870, comenzó la segunda revolución industrial. La segunda revolución industrial estuvo determinada por la introducción de la división del trabajo y la producción en masa con la ayuda de la energía eléctrica (Kagermann et al., 2013). La tercera revolución industrial se refirió a la multiplicación de la capacidad intelectual humana en la misma medida en que la fuerza muscular humana se había multiplicado en la primera y segunda revoluciones industriales (Balkhausen, 1978). La cuarta revolución industrial describe un paso más adelante en el que las personas, las máquinas y los productos están directamente conectados entre sí y con su entorno. En 2013, el grupo de trabajo "Arbeitskreis Industrie 4.0", compuesto por representantes de la industria, la investigación, la "Forschungsunion" y asociaciones, presentó su informe de recomendaciones para la introducción de la Industria 4.0 al gobierno en la Feria de Hannover. Además, en 2013, las asociaciones alemanas BITKOM, VDMA y ZVEI crearon la "Plattform Industrie 4.0" como plataforma de referencia para una mayor promoción de la Industria 4.0 en la política y la industria alemanas (Acatech, 2013). En los primeros años después de la presentación e introducción de este nuevo término, la caracterización y descripción de Industria 4.0 varió enormemente y en ese momento no existía una definición concreta y generalmente aceptada de Industria 4.0 (Bauer et al., 2014). Los principales objetivos de la Industria 4.0 incluyen la individualización de los requisitos del cliente, la flexibilidad y adaptabilidad de los sistemas de fabricación y logística, la mejora de la toma de decisiones, la integración de las TIC y los sistemas ciberfísicos (CPS), la

introducción de tecnologías de producción avanzadas, conceptos de automatización inteligente, negocio adaptado y modelos organizacionales, así como conceptos para procesos productivos y logísticos más sostenibles (Spath et al., 2013). Una de las mayores oportunidades de la Industria 4.0 se espera en las capacidades de CPS para la autoorganización y el autocontrol en los llamados Sistemas de Producción Ciberfísica (CPPS) (Monostori, 2014). Los CPS son sistemas de entidades computacionales colaboradoras que están en conexión intensiva con el mundo físico circundante y sus procesos en curso, proporcionando y utilizando, al mismo tiempo, servicios de acceso y procesamiento de datos disponibles en Internet. En otras palabras, CPS se puede caracterizar generalmente como sistemas físicos y de ingeniería cuyas operaciones son monitoreadas, controladas, coordinadas e integradas por un núcleo de computación y comunicación. Los datos de producción se proporcionan con una calidad completamente nueva y con información en tiempo real sobre los procesos de producción. Esto es posible mediante la ubicación integral de la producción con sensores y la integración continua de objetos inteligentes (Spath et al., 2013; Zhou et al., 2018). Los modelos de datos futuros funcionarán en tiempo real y la producción será más transparente (Rauch et al., 2018). Una imagen de la producción se presenta como esencial para un control de producción nuevo, descentralizado y en tiempo real, tal sistema de control de producción puede hacer frente en el futuro a cargas de trabajo desiguales a corto plazo y tomar decisiones complejas descentralizadas en un entorno de producción personalizado (Spath et al., 2013; Meissner et al., 2017). Con CPS, la búsqueda de economías de escala como medio para reducir costos pierde importancia porque muchos pasos individuales del proceso se pueden combinar de manera más flexible mediante el uso de la modularización de las corridas de producción basada en computadora. Esto significa que, con tecnologías de producción en red, será posible una producción individualizada a bajos costos. En un sistema de producción tradicional, el cumplimiento de los requisitos individuales de los clientes solo es posible mediante el cambio frecuente de variantes o la ejecución individual de pasos de producción individuales, lo que a menudo significa costos más altos debido a costos de producción más altos. Según una definición de la Comisión Europea, Industria 4.0 consta de una serie de tecnologías nuevas e innovadoras:

- Tecnología de la información y la comunicación (TIC) para digitalizar la información e integrar sistemas en todas las etapas de la creación y el uso del producto (incluida la

logística y el suministro), tanto dentro de las empresas como fuera de las fronteras de la empresa.

- Sistemas ciberfísicos que usan ICTS para monitorear y controlar procesos y sistemas físicos. Estos pueden involucrar sensores integrados, robots inteligentes que pueden configurarse para adaptarse al producto inmediato que se creará o dispositivos de fabricación aditiva (impresión 3D).
- Comunicaciones en red que incluyen tecnologías inalámbricas e Internet que sirven para vincular máquinas, productos de trabajo, sistemas, tanto dentro de la planta de fabricación, como con proveedores y distribuidores.
- Simulación, modelado y virtualización en el diseño de productos y establecimiento de procesos de fabricación.
- Análisis y explotación de macrodatos, ya sea inmediatamente en la fábrica o mediante la computación en la nube.
- Sistemas de asistencia digital para trabajadores humanos, incluidos robots, realidad aumentada y sistemas de ayuda inteligentes.

El rol de las PYMEs en el mundo

Según cálculos basados en encuestas de empresas del Banco Mundial que cubren más de 25.000 PYMEs en países en desarrollo, las exportaciones directas representan solo el 7,6% de las ventas totales de las PYMEs en el sector manufacturero, en comparación con el 14,1% de las grandes empresas manufactureras. Entre las regiones en desarrollo, África tiene la cuota de exportación más baja con un 3%, en comparación con el 8,7% de Asia en desarrollo. La participación de las PYMEs en las exportaciones indirectas de servicios en los países en desarrollo es insignificante, representando solo el 0,9% de las ventas totales de servicios en comparación con el 31,9% de las grandes empresas (WTO, 2016). En muchos países, y en particular en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), las PYMES son actores clave en la economía y en los ecosistemas más amplios de empresas. En el área de la OCDE, las PYMES son la forma predominante de empresa y representan aproximadamente el 99% de todas las empresas. Proporcionan la principal fuente de empleo, representan alrededor del 70% de los puestos de trabajo en promedio, y son los principales contribuyentes a la creación de valor, generando entre el 50 y el 60% del valor agregado en promedio. En las economías emergentes,

las PYMEs aportan hasta el 45% del empleo total y el 33% del PIB. Si se tiene en cuenta la contribución de las empresas informales, las PYMEs contribuyen a más de la mitad del empleo y del PIB en la mayoría de los países, independientemente de los niveles de ingresos. Además, el desarrollo de las PYMEs puede contribuir a la diversificación económica y la resiliencia y, por tanto, a una economía más sostenible. Esto es especialmente relevante para los países ricos en recursos que son particularmente vulnerables a las fluctuaciones de los precios de las materias primas (OCDE, 2017).

Industria 4.0 en las PYMEs

El entorno industrial ha experimentado un cambio radical con la introducción de nuevas tecnologías y conceptos basados en la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0 (14.0) (Sendler, 2013), la Cuarta Revolución Industrial (Kagermann et al., 2013) o Fabricación Inteligente (Kang et al., 2016). El concepto de la Industria 4.0 se basa en la integración de tecnologías de la información y la comunicación y tecnologías industriales avanzadas en los llamados Sistemas Ciberfísicos (CPS) para realizar una fábrica digital, inteligente y sostenible (Zhou et al., 2015). El significado básico de la industria 4.0 radica en conectar productos, máquinas y personas con el medio ambiente y combinar producción, tecnología de la información e internet (Kagermann et al., 2013). La industria, especialmente en los países con salarios altos, debe introducir este tipo de estrategias de producción inteligente para mantener la ventaja competitiva actual en el largo plazo compitiendo en un mercado global (Manhart, 2017). Para seguir siendo competitivos, deben mejorar los tiempos de entrega, la flexibilidad y la capacidad de producir muchos tipos individuales de productos en tamaños de lote pequeños o tamaños de lote de uno solo (Spath et al., 2013; Matt y Rauch, 2013).

En un entorno de personalización masiva y "diseño para x", se deben proporcionar más opciones de funcionalidad y personalización al cliente y más flexibilidad, transparencia y globalización para la cadena de suministro (Baum, 2013). Por otro lado, esto también conduce a una situación más difícil y compleja para las empresas de fabricación. Responder rápidamente a las expectativas y requisitos de los clientes no es fácil y requiere sistemas de fabricación ágiles y altamente adaptables (Zawadzki y Żywicki, 2016). La introducción de 4.0 en las empresas de fabricación

contribuye exactamente a abordar estos desafíos globales para fortalecer la competitividad de los países con salarios altos (Kagermann et al., 2013).

Las empresas manufactureras, y especialmente las PYMEs, luchan con la introducción de la industria 4.0 y se benefician de su potencial para aumentar la productividad en el piso de producción (Matt et al., 2014), muchas veces no saben cómo afrontar el desafío de la industria 4.0 o cómo empezar a introducir e implementar los conceptos. Un estudio reciente de 2017 realizado con PYMEs fabricantes en West Virginia, EE. UU., confirmó la lucha de las PYMEs para adoptar Smart Manufacturing (Mittal et al., 2018). De acuerdo con su revisión de la literatura, solo unos pocos estudios se enfocan específicamente en apoyar el camino evolutivo de las PYMEs y el cambio de paradigma hacia la "Manufactura inteligente" o la "Industria 4.0". Las PYMEs a menudo enfrentan complicaciones en tales procesos innovadores debido al continuo desarrollo de innovaciones y tecnologías. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para proporcionar instrumentos y modelos para PYMEs que introducen en la industria 4.0 en sus empresas y plantas de producción. Además, los responsables de la formulación de políticas deberían proponer estrategias con el objetivo de ayudar a las PYMEs a invertir en estas tecnologías y hacerlas más competitivas en el mercado (Zambon et al., 2019).

Conclusiones

La Industria 4.0 representa un gran desafío tanto para las grandes empresas como para las medianas y pequeñas, ya que las primeras cuentan con los recursos financieros y humanos necesarios para introducir la industria, mientras que las PYMEs no se trata de si deben introducir la Industria 4.0 o no, sino de cómo pueden hacerlo lo más rápido posible para mantener o lograr una gran ventaja competitiva.

Las pequeñas y medianas empresas se enfrentan al obstáculo de no poseer ni recursos humanos ni financieros para investigar sistemáticamente el potencial y los riesgos de introducir la Industria 4.0, sin embargo, en la mayoría de los países, las PYMEs constituyen la columna vertebral de la economía y representan la mayor parte del producto interno bruto.

Las pequeñas y medianas empresas requieren estructuras organizativas flexibles porque áreas de negocio que en la actualidad están claramente separadas entre sí están cada vez más interconectadas, es así como la dirección de las pequeñas y medianas empresas debe intentar averiguar cuánto más inteligente puede hacer su gama de productos inteligentes.

Referencias

1. Acatech, J. (2013). Bundeskanzlerin Angela Merkel nimmt Bericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 entgegen. <https://www.acatech.de/allgemein/bundeskanzlerin-angela-merkel-nimmt-bericht-desarbeitskreises-industrie-4-0-entgegen/>.
2. Balkhausen, D. (1978). Die dritte industrielle Revolution, wie die Mikroelektronik unser Leben verändert. <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y>.
3. Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach D., Ganschar O. (2014). Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36917-9>.
4. Baum, G. (2013). Innovationen als Basis der nächsten Industrierevolution. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36917-9_3.
5. BMBF (2012). Zukunftsbild Industrie 4.0. https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/zukunftsbild-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
6. Boughton, N.J., and I.C. Arokiam. (2000). The Application of Cellular Manufacturing: A Regional Small to Medium Enterprise Perspective. <https://doi.org/10.1243/0954405001518125>.
7. Deloitte. (2015). Industry 4.0—Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies. Study of Deloitte Consulting. <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014>.
8. Gualtieri, L., Rojas R., Carabin G., Palomba I., Rauch E., Vidoni R., Matt D. (2018). Advanced Automation for SMEs in the I4. 0 Revolution: Engineering Education and Employees Training in the Smart Mini Factory Laboratory. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607719>.
9. Kagermann, H., Helbig J., Hellinger A., Wahlster W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. <https://www.bibsonomy.org/bibtex/25c352acf1857c1c1839c1a11fe9b7e6c/flint63>

10. Kang, H., Lee J., Choi S., Kim H., Park J., Son J., Kim B., Do Noh S. (2016). Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
11. Lee, J., Lapira E. (2013). Predictive Factories: The Next Transformation. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00107>.
12. Manhart, K. (2017). Industrie 4.0 könnte schon bald Realität sei. <http://www.computerwelt.at/news/wirtschaft-politik/infrastruktur/detail/artikel/99076industrie-40-koennte-schon-bald-realitaet-sein/>.
13. Manhart, K. (2013). Industrie 4.0 konnte schon bald Realität sein. <https://computerwelt.at/knowhow/industrie-4-0-konnte-schon-bald-realitaet-sein/>.
14. Matt, D. (2007). Reducing the Structural Complexity of Growing Organizational Systems by Means of Axiomatic Designed Networks of Core Competence Cells. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2008.02.001>.
15. Matt, D., Rauch E. (2013). Design of a Network of Scalable Modular Manufacturing Systems to Support Geographically Distributed Production of Mass Customized Goods. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.09.075>.
16. Matt, D., Rauch E., Dallasega P. (2014). Mini-Factory—A Learning Factory Concept for Students and Small and Medium Sized Enterprises. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.057>.
17. Matt, D., Rauch E., Fraccaroli D. (2016). Smart Factory for SMEs: Designing a Holistic Production System by Industry 4.0 Vision in Small and Medium Enterprises (SMEs). <https://doi.org/10.3139/104.111471>.
18. Meissner, H., Ilse R., Aurich J. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113>
19. Mittal, S., Khan M., Romero D., Wuest T. (2018). A Critical Review of Smart Manufacturing & Industry 4.0 Maturity Models: Implications for Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612518301341>
20. Modrak, V., Marton D., Bednar S. (2014). Modeling and Determining Product Variety for Mass-Customized Manufacturing. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.090>.

21. Monostori, L. (2014). Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>.
22. OECD (2017). Enhancing the Contributions of SMEs in a Global and Digitalized Economy. <https://www.oecd.org/mcm/documents/C-MIN2017-8-EN>.
23. Olle, W., Claus D. (2015). Industrie 4.0 braucht den Mittelstand Kurzstudie. Chemnitz Automotive Institute. http://cati.institute/wp-content/uploads/2015/03/Kurzstudie_Endfassung
24. Rauch, E., Dallasega P., Matt D. (2018). Complexity Reduction in Engineer-to-Order Industry through Real-Time Capable Production Planning and Control. <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0809-0>.
25. Sandler, U. (2013). Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36917-9_1.
26. Spath, D., Ganschar O., Gerlach S., Hammerle T., Schlund S. (2013). Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. <https://doi.org/10.3926/jiem.1470>.
27. Turkeş, M., Oncioiu I., Aslam H., Marin A., Topor D., Căpuşneanu S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. <https://doi.org/10.3390/pr7030153>.
28. World Trade Report (2016). Levelling the Trading Field for SMEs. https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/_trade_report16_e.pdf.
29. Zambon, I., Cecchini M., Egidi G., Saporito M., Colantoni A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>.
30. Zawadzki, P., Zywicki K. (2016). Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0030>.
31. Zhou, K., Liu T., Zhou L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. <https://doi.org/10.1109/fskd.2015.7382284>.