

LA VIGILANCIA CIENTÍFICA COMO APOYO A LA GESTIÓN EDUCATIVA. UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA FORMACIÓN EN GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.

¹Christian Zetty Arenas

²María Alejandra Jácome Vallejo

³María Eugenia Morales

⁴Pablo Andrés Erazo Muñoz

⁵Carlos Alejandro Ramírez Gómez

⁶Alejandra Galeano Colonia

⁷Néstor Eduardo Sánchez Ospina

Como citar este artículo:

Zetty Arenas, C., Jácome Vallejo, M. A., Morales Quiceno, M. E., Erazo Muñoz, P. A., Ramírez Gómez, C. A., Galeano Colonia, A., & Sánchez Ospina, N. E. (2020). La vigilancia científica como apoyo a la gestión educativa. Un análisis de la formación en Automatización Industrial. *Rutas de formación: prácticas y experiencias*, 10, 60–75. <https://doi.org/10.24236/24631388.n.2020.3396>

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2020 / Fecha de aprobación: 28 de octubre de 2020

Resumen

La enseñanza de la gestión de la producción industrial GPI, trae grandes retos tanto para los docentes como para los centros de formación donde se orienta, debido a los avances en esta línea de conocimiento, además del amplio número de publicaciones que se genera en este campo.

¹Diseñador Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Instructor Centro de Automatización Industrial SENA. Regional Caldas. E-mail: czettya@misena.edu.co.

²Ingeniera industrial. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Especialista en gerencia estratégica de proyectos. Instructora Centro de Automatización Industrial SENA. Regional Caldas. E-mail: mjacomev@sena.edu.co

³Ingeniera Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Instructora Centro de Automatización Industrial SENA. Regional Caldas. E-mail: maria.e@misena.edu.co.

⁴Doctorando en Administración, Universidad Nacional de Colombia; Magister en Administración; Universidad Nacional de Colombia Especialista en Gerencia Educativa; Universidad Católica de Manizales. Administrador de Empresas; Universidad Nacional de Colombia Grupo de Investigación Cultura de la Calidad en la Educación; Universidad Nacional de Colombia. Profesional ENI Centro de Automatización Industrial SENA Regional Caldas. paerazom@unal.edu.co; paerazom@sena.edu.co

⁵Magister en Automatización Industrial; Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Eléctrico; Universidad Nacional de Colombia. Catedrático Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia UPTC. Instructor SENNOVA Centro de Automatización Industrial; Sena regional Caldas. carlos.ramirez05@uptc.edu.co - alramirezgo@sena.edu.co

⁶Magister en Administración de Negocios; Especialista en Desarrollo Gerencial; Universidad Autónoma de Manizales. Trabajadora Social; Universidad de Caldas. Profesional diseño curricular. Centro de Automatización Industrial SENA Regional Caldas. agaleanoc@sena.edu.co.

⁷Magister en Ciencias-Física; Universidad Nacional de Colombia; Ingeniero Físico; Universidad Nacional de Colombia. Líder SENNOVA - Grupo de Investigación EAYER, Centro de Automatización Industrial Sena regional Caldas nesanchezo@unal.edu.co; nesanchezo@sena.edu.co

Por lo anterior por medio de una metodología innovadora basada en el análisis bibliométrico y utilizando software como (Bibliometrix de R), VOSviewer, Sci2 y Gephi, se presenta una revisión a la literatura científica en este campo, dentro de los principales hallazgos se encuentra que se han publicado 16.709 documentos en Scopus y 4.741 en WOS, siendo el 2019, el año con mayor producción en este tema, los países más representativos son Estados Unidos y Alemania, las instituciones con mayor número de publicaciones son la Universidad Técnica de Aquisgrán y el Politécnico de Milano. Los autores más prolíficos son Danil Zakoldaev e Igor Olegovich Zharinov con 46 publicaciones respectivamente; en Colombia la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de la Costa son las más representativas. Se encontraron cuatro tendencias en la producción científica en GPI que son Lean manufacturing, Industrias 4.0, Transformación digital y Manufactura sostenible. La investigación aporta a los docentes un panorama del pasado, presente y futuro de la gestión de la producción Industrial, lo que les permitirá mejorar su práctica educativa, además de hacer aportes a los currículos, la formación docente y a la actualización de laboratorios donde se enseñan temas relacionados la GPI.

Palabras clave: Análisis bibliométrico; vigilancia científica; gestión de la producción industrial GPI; Sci2; gestión educativa.

Scientific surveillance as support for educational management. A bibliometric analysis of the Training in Management of Industrial Production.

Abstract

The teaching of Industrial Production Management GPI, for its initials in Spanish, brings great challenges both for teachers and for the training centers where it is oriented, due to the advances in this line of knowledge, in addition to the large number of publications generated in this field. Therefore, through an innovative methodology based on bibliometric analysis and using software such as (Bibliometrix de R), VOSviewer, Sci2 and Gephi, a review of the scientific literature in this field is presented. Within the main results we found that 16,709 documents have been published in Scopus and 4,741 in WOS. So far, 2019 has been the year with the highest production on this subject. The most representative countries are the United States and Germany. The institutions with the highest number of publications are the Technical University of Aachen and the Polytechnic of Milano. The most prolific authors are Danil Zakoldaev and Igor Olegovich Zharinov with 46 publications; in Colombia the Universidad Nacional de Colombia and the Universidad de la Costa are the most representative. Four trends in scientific production in GPI were found. They are: Lean manufacturing, Industries 4.0, Digital Transformation and Sustainable Manufacturing. This research provides teachers with an overview of the past, present and future of the Industrial production management. It will allow them to improve their educational practice, in addition to making contributions to curricula, teacher training and updating laboratories where GPI related topics are taught.

Keywords: Bibliometric analysis; scientific surveillance; industrial production management GP; Sci2; Education Management.

A vigilância científica como suporte para a gestão educacional. Uma análise bibliométrica da Formação em Gestão da Produção Industrial.

Resumo

O ensino da gestão da produção industrial, GPI, traz grandes desafios tanto para os professores quanto para os centros de formação onde está orientado, devido aos avanços nesta linha de conhecimento, além do grande número de publicações geradas nesta área. Portanto, através de uma metodologia inovadora baseada em análise bibliométrica e utilizando softwares como Bibliometrix de R, VOSviewer, Sci2 e Gephi, é apresentada uma revisão da literatura científica na área. Dentro dos principais achados consta que já foram publicados 16.709 documentos na Scopus e 4.741 na WOS, sendo 2019 o ano de maior produção sobre o assunto. Os países mais representativos são os Estados Unidos e a Alemanha, as instituições com maior número de publicações são a Universidade Técnica de Aachen e o Politécnico de Milão. Os autores mais prolíficos são Danil Zakoldaev e Igor Olegovich Zharinov com 46 publicações respectivamente; na Colômbia, a Universidade Nacional da Colômbia e a Universidade da Costa são as mais representativas. Quatro tendências na produção científica foram encontradas no GPI, que são Lean Manufacturing, Industries 4.0, Digital Transformation e Sustainable Manufacturing. A pesquisa proporciona aos professores um panorama sobre o passado, o presente e o futuro da gestão da produção industrial; o que lhes permitirá aprimorar sua prática pedagógica, além de contribuir com os currículos, a formação docente e a atualização dos laboratórios onde são ministrados tópicos relacionados ao GPI.

Palavras-chave: Análise bibliométrica; vigilância científica; gestão da produção industrial GPI; Sci2; Gerenciamento de educação.

Introducción

En el mundo, en el que el conocimiento crece a gran velocidad, es necesario desarrollar herramientas que permitan realizar una vigilancia constante y que posibilite estar al día en las tendencias a donde se dirige el conocimiento; y, para identificar la vanguardia de este en diferentes áreas, se han desarrollado herramientas de vigilancia científico-tecnológica.

En el mundo académico, una de las herramientas más usadas para realizar vigilancias es el análisis bibliométrico, el cual permite buscar la información, además de medir su nivel de impacto (Mena et al., 2020). Esto permite dar una orientación a la comunidad académica con respecto a los diferentes enfoques y avances de un área del conocimiento, además de diferentes elementos como la colaboración entre autores, la actividad científica por país o región, el análisis de citación y el factor de impacto de las publicaciones y revistas (Duque y Cervantes-Cervantes, 2019).

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis bibliométrico del área de conocimiento de gestión de la producción industrial. El Análisis está dividido en dos fases. La fase uno comienza con un área de conocimiento de forma general a partir de la cual se realizan cinco pasos, de lo cual se obtiene una ecuación de búsqueda acorde con las tendencias actuales del área de conocimiento. En la fase dos se realiza una búsqueda definitiva con ayuda de la ecuación de búsqueda y se construye una base de datos, con la cual se realizan los tres análisis que son: análisis de publicaciones con la herramienta Biblometrix, en donde se busca identificar los autores, las instituciones y los países que están marcando la pauta en el área de conocimiento; análisis del árbol de la ciencia, en el cual se clasifican las publicaciones en tres tipos: raíz, tronco y follaje; análisis de tendencia, en donde se identifican los temas en los cuales se está desarrollando el área de conocimiento, que se realizan con la ayuda de Sci2 Tool.

Por último, este trabajo presenta, a modo de conclusión, los referentes teóricos que se deben seguir en el área de gestión de la producción industrial e identificar las tendencias de conocimiento en las cuales se desarrollará el área en los próximos años. Adicionalmente, plantea las acciones a desarrollar para que los programas de formación del área que se imparten en el Centro de Automatización Industrial, del Servicio

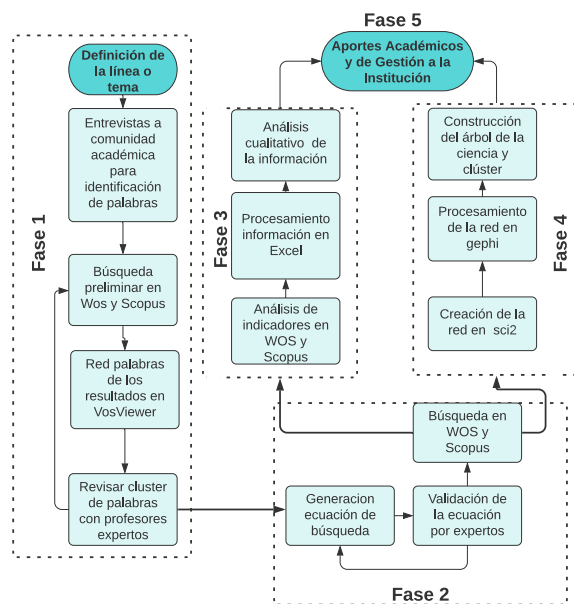
Nacional de Aprendizaje (SENA), continúen a la vanguardia del conocimiento y acorde con las necesidades del entorno. Esto es muy importante, ya que este estudio abre las puertas hacia unos procesos de formación concertada entre las necesidades del mundo laboral y las ofertas educativas, a fin de cumplir con la misión del SENA, de entregar el recurso más valioso a las organizaciones —que son las personas—, para que estas sean idóneas, aptas y cualificadas para ejercer con efectividad las actividades que se requieren en ellas.

Metodología para la vigilancia científica-tecnológica

Con el fin de ampliar la aplicación de la metodología propuesta, se realizó un análisis a la Línea de Gestión de la Producción Industrial buscando la información científica en este tema, que permitiera entender los ejes directrices hacia donde se dirige esta especialidad y la cual permita posteriormente tomar decisiones de formación para el Centro de Automatización Industrial; por este motivo se realiza la investigación a través de la metodología, la cual se describirá a continuación.

Figura 1.

Metodología: vigilancia científica para el mejoramiento de la gestión educativa



Fuente: Elaboración propia

Desarrollo de la fase uno

Paso uno: definición de la línea o tema

En el Centro de Automatización Industrial del SENA, regional Caldas, se viene realizando un estudio de prospectiva que posibilite validar la pertinencia de los programas, además, garantizar la vigencia del contenido curricular de los mismos. Para esto, se aplicó un proceso de vigilancia científico-tecnológica en cada una de las áreas medulares del Centro y a los programas de formación ofrecidos a la comunidad. En el presente documento se presenta la vigilancia del área de gestión de la producción industrial.

Paso dos: entrevista a comunidad académica para identificación de palabras

Para identificar la evolución, autores e instituciones origen de las publicaciones científicas, se partió de la identificación de las palabras clave relacionadas con la Línea Medular de Gestión de la Producción Industrial, estas fueron sugeridas por los expertos del área en el Centro y se concluyó que se podría partir de la ecuación de búsqueda “logistic” o “efficiency” y “supply chain”.

Paso tres: búsqueda preliminar en WOS y Scopus

Con estas palabras, se realizó una búsqueda en las plataformas Web of Science (en adelante WoS) y Scopus del tema “logistic” o “efficiency” y “supply chain”. El resumen de los resultados obtenidos de la búsqueda se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1.

Resumen de resultados de la búsqueda

Plataforma de indexación	Resultados	Periodo
WOS	300.403	Todos los años -hasta 28/05/2020
SCOPUS	22.465	Todos los años -hasta 28/05/2020

Fuente: Elaboración propia

Paso cuatro: análisis de red de palabras en Vosviewer

Para la segunda parte de la fase 4 se utiliza VOSviewer, que es un programa informático disponible gratuita-

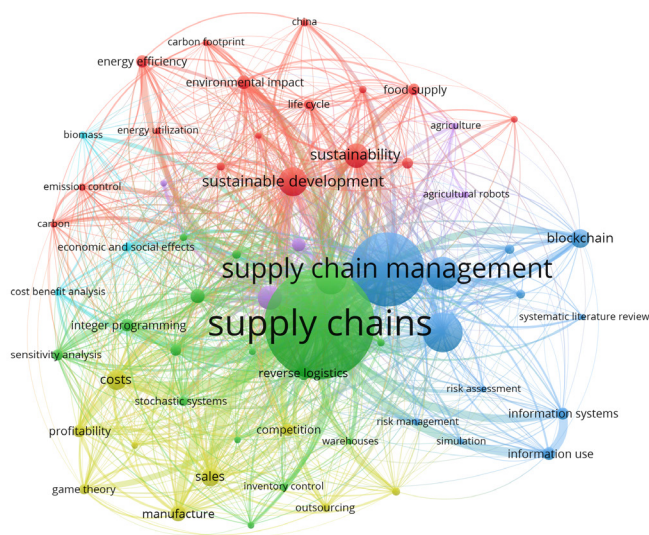
mente, desarrollado por Van Eck y Waltman (2010) para construir y visualizar mapas bibliométricos. A diferencia de la mayoría de los software que se utilizan para el mapeo bibliométrico, VOSviewer presta especial atención a la representación gráfica de los mapas bibliométricos, y es especialmente útil para mostrar grandes mapas bibliométricos de una manera fácil de interpretar (Van Eck y Waltman, 2010).

VOSviewer puede usarse, por ejemplo, para construir mapas de autores o revistas basados en datos de citas o para construir mapas de palabras clave basados en datos de coincidencia. Cuando se construyen los mapas, se pueden visualizar de tres maneras: vista de etiqueta, en donde los elementos se indican mediante un elemento que permite marcarlos y, de forma predefinida, mediante un círculo, hacer comparaciones por medio de tamaño, por tanto, entre más grande la etiqueta y el círculo, más importante es el documento; vista de densidad, en la que el color de un punto en un mapa depende del número de elementos en la vecindad del punto y de la importancia de los elementos vecinos. La vista de densidad es particularmente útil para obtener una visión general de la estructura general de un mapa y llamar la atención sobre las áreas más importantes de él (Van Eck y Waltman, 2010); vista de densidad de clúster, la cual es particularmente útil para obtener una visión general de la asignación de elementos a los clústeres y de la forma en que ellos se relacionan entre sí (Van Eck y Waltman, 2010).

En la metodología propuesta en el presente artículo, se utilizan las mallas de VOSviewer para analizar las redes de palabras, autores y países, y se aprovecha su visualización para observar cuáles son, por ejemplo, los países que vienen publicando actualmente y las redes de citación. Además de lo anterior, se utiliza inicialmente para determinar los clústeres de palabras a fin de que los expertos y docentes / instructores los puedan validar.

Con la ayuda del software bibliométrico Vosviewer se lograron identificar seis Clúster o tendencias, los cuales están conformados por las palabras clave usadas en los artículos encontrados en la búsqueda, y que se presentan en la figura 2.

Red de palabras clave



Fuente: elaboración propia en VOSviewer

Paso cinco: revisión del clúster de palabras por profesores y expertos

En este paso se busca realizar una validación sobre los resultados obtenidos, para lo cual se toman las tendencias encontradas por la aplicación VosViewer. Cada tendencia está compuesta por una serie de palabras clave. Para la validación, se realiza una sesión de trabajo con uno o varios expertos del área de conocimiento y se hace la verificación de la coherencia de los resultados con el desarrollo y perspectiva del área; si el resultado de la búsqueda es válido, se documenta, en caso contrario, los resultados de la búsqueda se toman como no válidos y es necesario regresar al paso dos.

Al realizar la sesión de trabajo y analizar los resultados de la búsqueda con los expertos del área de gestión de la producción industrial, María Alejandra Jácome Vallejo, Christian Zetty Arenas y María Eugenia Morales Quiceno, lograron identificar tres tendencias relevantes en el área, las cuales se presentan a continuación.

Clúster 1. Logística / logistic: *circular economy, cleaner production, E-commerce, facility localition, inventory management, logistic network, loop supply chain, CRM - ERP, network design, reverse logistics, supply chain design, trazabilidad, Big Data, Big Data Analytics, logistics, transports, social responsability.*

Clúster 2. Programación de la producción / *schedule production*: *product, remanufacturing, simulation, industry 4.0, internet of things*, justo a tiempo, teoría de restricciones, PER, CPM, formulación de problemas de programación lineal, reglas de prioridad, Palmer, Jhonson N2, teoría de colas (línea de espera), balance de línea, sistemas aditivos (lineal, lotes, proyectos), *lean manufacturing, lead time*, control estadístico de procesos.

Clúster 3. Estudio del trabajo / *work study*: diagrama bimanual, diagrama hombre-máquina, diseño de puestos de trabajo, estándar de producción, documentación de procesos, flujograma, diagrama de procedencia, diagrama sinóptico, ideograma, *workstation design*, *work study*, *time study*, *method study*.

Desarrollo de la fase dos

Paso uno: generación de la ecuación de búsqueda

La ecuación de búsqueda es construida con las palabras obtenidas en la fase uno, utilizando para ello operadores lógicos y algunos filtros a fin de que la búsqueda sea lo más acertada posible en el paso dos.

Paso dos: validación de la ecuación de búsqueda

Con la ayuda de los expertos se realiza la validación de la ecuación de búsqueda, la cual debe establecerse de tal forma que permita abarcar claramente el área de conocimiento en la cual se está realizando la vigilancia científico-tecnológica. Para este caso, se define la ecuación de búsqueda: “*supply chain design*” o “*lean manufacturing*” o “*industry 4.0*” o “*process documentation*” o “*workstation design*”.

Paso tres: búsqueda en WOS y SCOPUS

Resultados obtenidos de la Búsqueda en WOS y Scopus

Plataforma de indexación	Resultados	Periodo
WOS	4741	Todos los años - hasta 28/05/2020
SCOPUS	16.709	Todos los años - hasta 28/05/2020

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo de la fase tres

Paso uno: análisis de indicadores en WOS o Scopus

Para el desarrollo de este paso se utilizó SCOPUS, por su afinidad con las bases de datos relacionadas con el área de gestión de la producción industrial. En este proceso, se realizó la búsqueda con la ecuación seleccionada en la fase anterior, teniendo como resultado 2908 documentos, los cuales posibilitan hacer un análisis que permite conocer de manera general las principales estadísticas e indicadores del tema o Línea Medular de Gestión de la Producción Industrial, entre ellas: producción a través de los años, autores representativos, instituciones representativas, países, tipos de documentos, subáreas, patrocinadores financieros de las investigaciones relacionadas y número de citas por documento.

Paso dos y tres: procesamiento y análisis de la información en Excel de Scopus

El análisis bibliométrico tiene como objetivo identificar los diferentes actores que influyen en la publicación de información del área de conocimiento en particular, para esto, se referencian los siguientes aspectos de las publicaciones encontradas: autores, instituciones, países, entre otros. Esta condición es muy importante, ya que tener identificadas las fuentes más influyentes en las áreas de conocimiento facilita su seguimiento, el cual se genera en una área determinada. Además, posibilita la evaluación de la cocitación y otros tipos de medidas, como el acoplamiento, la colaboración científica y los análisis de co-palabras, permitiendo hacer el análisis de otros índices, entre ellos, la cantidad de artículos, redes de cocitación y coautorías, productividad por países y autores e impacto de las revistas.

Figura 3.

Número de publicaciones por año, en el área de gestión de la producción industrial

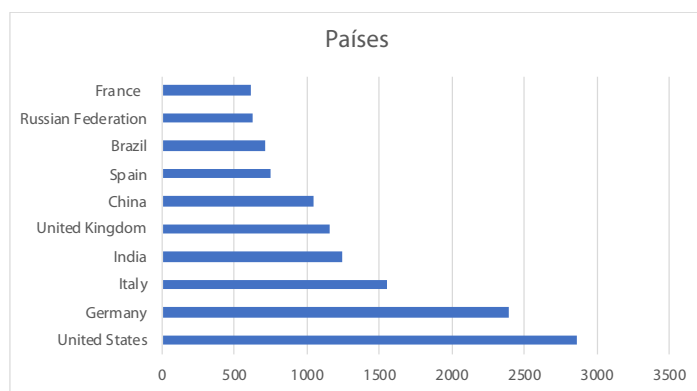


Fuente: Scopus.

El número de publicaciones por año en un área de conocimiento es de gran importancia, ya que permite identificar la pertinencia y la relevancia de este; una caída en las publicaciones o una nula investigación sobre del área puede suponer que el tema ha perdido del interés por parte de los investigadores y que fue reemplazado por otros temas. En la figura 3 se puede evidenciar el crecimiento de las publicaciones hasta el 2019 y que en el 2020 ya se tiene un número significativo de ellas, lo que indica que el área de conocimiento en gestión de la producción industrial es de relevancia académica.

Figura 4.

Número de publicaciones por país en el área



Fuente: Scopus.

Países de las publicaciones

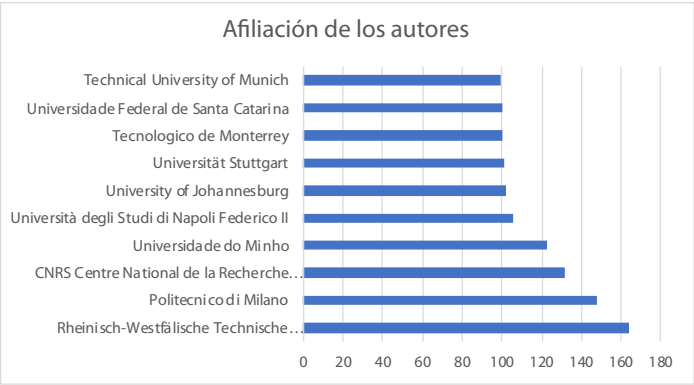
Los países tienen procesos que favorecen el desarrollo de diferentes áreas de conocimiento, lo cual genera que algunos se conviertan en un referente frente a un área específica de conocimiento. De la figura 4 se puede concluir que los tres países con mayor aporte al desarrollo del área de conocimiento son Estados Unidos, Alemania e Italia; todos ellos con más de 1000 publicaciones, lo que los convierte en un referente importante para el área de gestión de la producción industrial.

Universidades o instituciones de pertenencia del autor

Los autores, generalmente, están afiliados a instituciones, que a su vez tienen áreas de conocimiento en las cuales trabajan; al identificar cuáles de ellas están publicando, es posible encontrar referentes que permitan definir los vectores hacia los cuales se dirige el conocimiento. En la figura 5 se pueden observar las instituciones de las cuales provienen la mayor cantidad de

información del área, convirtiéndose en referentes a nivel mundial.

Figura 5.
Afiliación de los investigadores

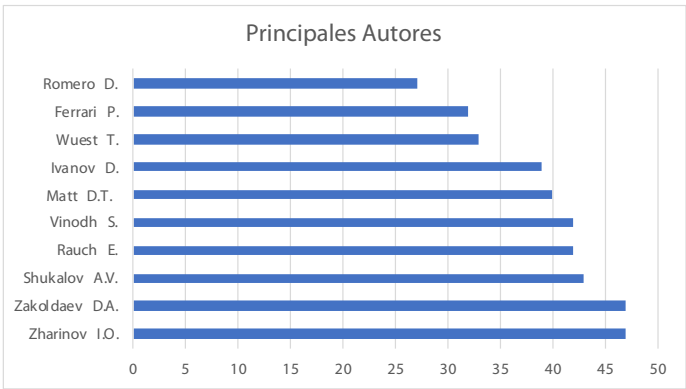


Fuente: Scopus.

Autores

Los resultados obtenidos en Scopus, permiten identificar los quince autores más representativos de acuerdo con el número de publicaciones, quienes se relacionan en la figura 6.

Figura 6.
Principales autores de área



Fuente: Scopus.

Tabla 3.
Información de los principales autores del área

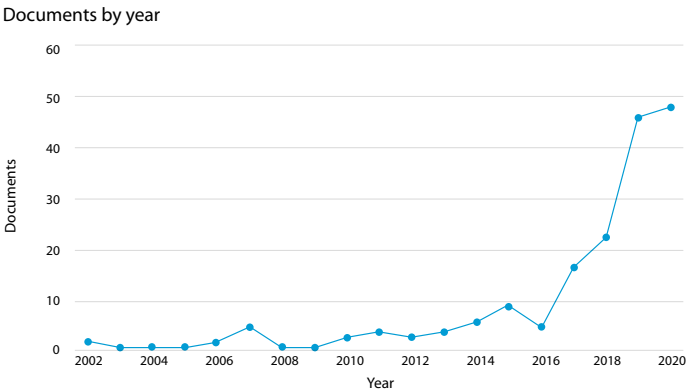
Autor	Danil A.Zakoldaev	Igor Olegovich Zharinov	Anatoly Vladimirovich Shukalov	Erwin Rauch
Afiliación	Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics University ITMO	Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics University ITMO	Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics University ITMO	Free University of Bozen-Bolzano, Bozen-Bolzano, Italy
Número de publicaciones	58	71	63	81
Índice H	5	6	5	16
Citas	102	131	110	746

Fuente: Elaboración propia

Análisis bibliométrico en Colombia

En Colombia también se ha venido desarrollando el área de gestión de la producción industrial, lo cual se ve reflejado con el número de publicaciones que se encuentran en la base de datos de Scopus, y que se puede ver en la figura 7.

Figura 7.
Número de publicaciones del área en Colombia



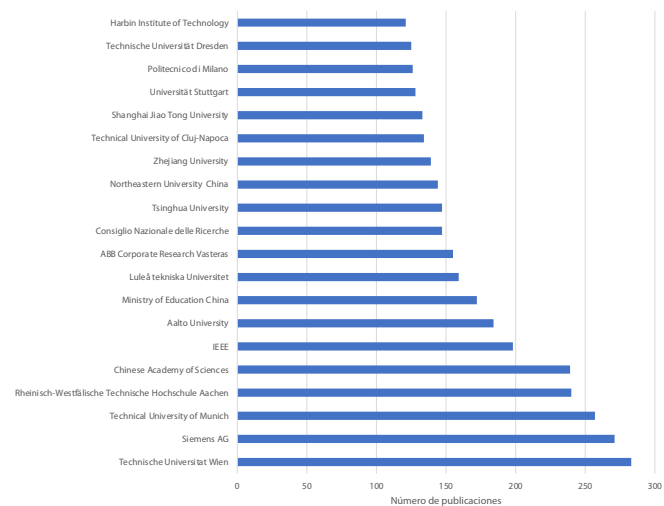
Fuente: Scopus.

Además, se puede observar la producción de documentos al año, al igual que a nivel mundial, el área ha tenido un repunte en el número de publicaciones en los últimos años, lo que la convierte en un área en desarrollo no solo a nivel mundial, sino también local. Adicionalmente, se evidencia que se han publicado 130 documentos sobre gestión de la producción industrial en Scopus, lo cual da una idea de la calidad de las publicaciones que se están generando en el área.

Instituciones en Colombia

En Colombia son varias las instituciones que están desarrollando el área de gestión de la producción industrial, así lo revela el número de publicaciones que se encuentran registradas en las bases de datos de Scopus (figura 8).

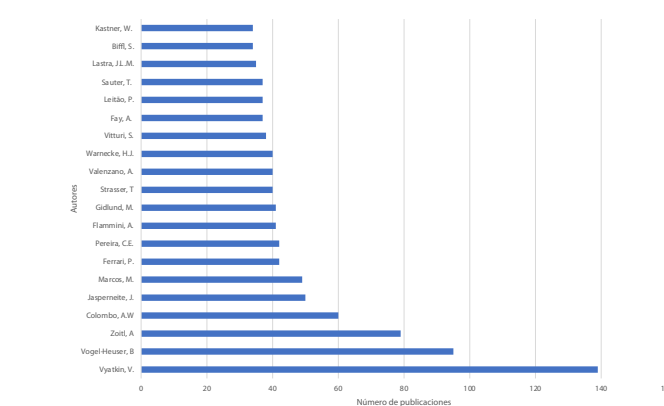
Figura 8.
Número de publicaciones por institución en Colombia



Fuente: Scopus.

Autores representativos en Colombia

Figura 9.
Número de publicaciones por Autores en Colombia



Fuente: Scopus.

En Colombia son varios autores que están desarrollando investigaciones en el área de gestión de la producción industrial, que se ven reflejados con los artículos hallados en bases de datos como Scopus (tabla 4).

Tabla 4.
Información de los principales autores del área en Colombia

Autor	Muñoz-Villamizar, Andrés	Varela Izquierdo, Noel	Rodríguez-Molano, José Ignacio	Rivera, Leonardo
Afiliación	Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, United States)	Universidad de la Costa (Barranquilla, Colombia)	Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia)	Universidad del Valle (Cali, Colombia)
Número de publicaciones	26	43	42	23
Índice H	8	8	5	5
Citas	197	123	75	170

Fuente: Scopus.

Desarrollo de la fase cuatro

Creación de la red en Sci2

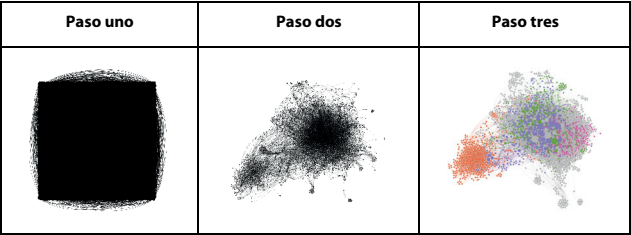
Después de realizar la búsqueda en las bases de datos WOS o Scopus, se deben descargar las citas, las cuales deben contener: autor, título, año, DOI, fuente y referencias de cada uno de los artículos. Con la base de datos y la herramienta Sci2 Tool se organiza la información y se aplican filtros que permiten identificar patrones comunes entre los diferentes artículos. Posteriormente, la información se lleva a la herramienta Gephi, que se encarga de procesar y graficar las redes de información, para lo que se deben seguir los siguientes pasos.

Paso uno: se genera el mapa de trayectorias y, cuando está realizado, toda la información que está allí reunida se traslapa entre sí. En este paso ya están disponibles las relaciones entre los artículos, pero es imposible de analizar, un ejemplo de esto se puede ver en la tabla 5.

Paso dos: en este paso se procesa la información con el fin de evitar los cruces de las trayectorias y de los artículos. En él se puede ver claramente el mapa de trayectoria de información (ver la tabla 5).

Paso tres: al poder ver claramente el mapa de trayectoria, es posible encontrar los patrones existentes en los artículos y de esta forma agruparlos (ver tabla 5).

Tabla 5.
Proceso del mapa de trayectoria

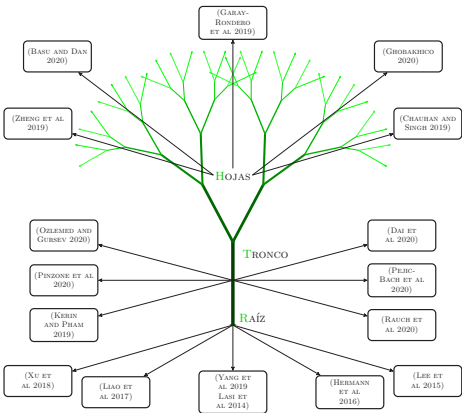


Fuente: Elaboración propia

Creación del árbol de la ciencia

El árbol de la ciencia permite identificar claramente la relevancia de los artículos, para lo cual se separan en tres categorías que son: la primera, denominada la raíz, en la que se presentan los artículos con grado de entrada alto y salida cero; la segunda el tronco, allí se asocian los artículos con un grado de intermediación alto; la tercera y última, el follaje el cual se localiza en los artículos con alto grado de salida y un grado de entrada cero, también denominados las perspectivas (Duque y Cervantes-Cervantes, 2019). En la figura 10 se puede ver como los artículos se identifican en cada una de las categorías.

Figura 10.
Árbol de la ciencia de área de gestión de la producción industrial



Fuente: Elaboración propia

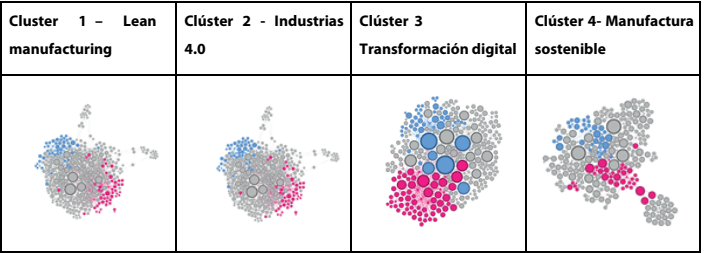
Creación del clúster

En este paso, lo que se debe hacer, es independizar cada uno de los grupos que se generan en el mapa de trayectoria, como se puede ver en la tabla 5. El algoritmo permite identificar dos tipos de grupos: tendencias

y árbol de la ciencia.

● **Tendencias:** para determinar las tendencias el algoritmo identifica cuál es la relación entre las palabras clave y las fuentes usadas, esto conduce a patrones que permitan reconocer áreas similares. En la tabla 6 se puede observar que se identificaron cuatro tendencias.

Tabla 6.
Tendencias del área de gestión de la producción industrial



Fuente: Elaboración propia con Sci2 - Gephi

Clúster 1. Lean manufacturing

En el artículo de Silvério et al. (2020) se tiene un enfoque basado en la autoevaluación esbelta, bajo la filosofía de la manufactura esbelta. Este artículo propone una hoja de ruta para evaluar el compromiso con el proceso de *lean manufacturing*, y la aplicación de contramedidas bajo el coeficiente de concordancia (W) de Delphi y Kendall. Esta permite tomar decisiones frente a la asignación de recursos, ya que es una mezcla de análisis cualitativos y cuantitativos, en busca del planteamiento de objetivos más precisos en las empresas y así establecer planes de acción para aumentar el compromiso hacia la filosofía de lean para hacerla más eficiente.

Los artículos de Silvério et al. (2020) y Yadav et al. (2020) presentan información relacionada con la solidez financiera de una compañía la cual puede estar acompañada de la reducción de sus impactos ambientales, lo que ha permitido que más empresas se interesen por los temas de producción eficiente, pero también por cualquiera de las metodologías que propenden con estos objetivos, tales como economía circular, manufactura esbelta, Six Sigma, fabricación sostenible, entre otros. Lo que se requiere es una adecuada implementación de las metodologías, y en algunas de las filosofías de trabajo con el fin de obtener beneficios desde lo económico, pero sin dejar de lado los impactos ambientales y de qué manera estos pueden servir

como factores de cambio para las compañías.

El artículo de Gonçalves et al. (2019) destaca que cada vez más empresas se han sumado a hacer parte de la filosofía del *lean manufacturing*, lo que les ha permitido tener mejores oportunidades frente a unos mercados cada vez más competitivos y sin restricciones de fronteras, por lo que las herramientas de LM contribuyen a la mejora de los rendimientos y eficiencia en toda la organización. Los análisis realizados en este artículo resaltan la influencia que tienen las herramientas del LM, y el rendimiento obtenido por las empresas, lo que significa una alineación entre los objetivos de la compañía y la forma de ejecutarlos.

En el artículo de Möldner et al. (2020), al igual que los anteriores, se busca establecer una relación directa entre LM y productividad, lo explora desde la estadística, haciendo una evaluación a diferentes empresas, levantando la información como resultado en la innovación de procesos, como punto de partida para el mejoramiento operativo de las empresas.

Entre tanto, los artículos de Amer y Shaw (2014) y Hines et al. (2004) proporciona un panorama de cómo la aplicación del pensamiento LM ha tenido un impacto significativo tanto en los círculos académicos como industriales en la última década. Esto teniendo en cuenta que lo toman como la filosofía de trabajo que realizó Toyota para mejorar la productividad de sus plantas de producción. Lo que estudia la evolución de ese tipo de pensamiento en otras empresas, no siendo tan fácil de replicar porque al no ser una metodología sino una filosofía, toma tiempo, tiempo que pocas empresas quieren dedicar a la formación de sus colaboradores.

Clúster 2. Industrias 4.0

El artículo de Tortorella et al. (2019) revela las diferencias en el nivel de implementación de industrias 4.0 y producción lean, cuya integración se denota como automatización *lean* (LA), en economías emergentes y desarrolladas. La incorporación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en organizaciones y fabricantes ha sido considerada como una característica importante de la cuarta era de la revolución industrial. Las tecnologías digitales facilitan niveles más altos de procesos, productos y servicios personalizados en masa, lo que permite a las empresas alcanzar mejores niveles de rendimiento. El éxito de

los enfoques novedosos de gestión no depende de los aspectos socioeconómicos, el verdadero desafío de la gestión reside en encontrar el equilibrio adecuado entre los esfuerzos necesarios para adoptar LA dentro de la empresa y sus posibles beneficios e impactos en el desempeño operativo y financiero.

En el artículo de Ghobakhloo y Ching (2019) se presenta la adopción de tecnologías digitales de fabricación inteligente en pequeña y mediana empresa (PYMES). La integración de las tecnologías de la información y las tecnologías digitales (IDT) en todas las facetas de fabricación es una prioridad estratégica para los fabricantes contemporáneos.

Las PYMES están significativamente limitadas con respecto a los recursos financieros y humanos, tienen acceso limitado a la información del mercado y rara vez utilizan técnicas estratégicas como el análisis financiero, el pronóstico y la gestión de proyectos. Además, necesitan desarrollar estrategias de digitalización inteligente y eventualmente prepararse para una transformación de fabricación inteligente. Las PYMES deben migrar de la adopción de herramientas IDT simples para avanzar SMIDT innovadoras. Los costos de implementación son una barrera importante para la adopción de IDT por parte de las PYMES. La compatibilidad percibida es un determinante para adoptar ERP, robots autónomos, etc. La hoja de ruta estratégica para la digitalización de la fabricación facilita la implementación de SMIDT.

El artículo de Ghobakhloo y Fathi (2019) se basa en demostrar cómo las pequeñas empresas manufactureras pueden aprovechar sus recursos de tecnología de la información (TI) para desarrollar el sistema de fabricación digitalizado que ofrece competitividad sostenida en la era de la industria 4.0. El desarrollo del sistema de fabricación digitalizado es una estrategia comercial viable para la supervivencia corporativa en el entorno de la industria 4.0. La relación directa entre TI y el desempeño a nivel de empresa puede ser débil, sin embargo, los recursos de TI apalancados de manera efectiva pueden aumentar las capacidades organizativas críticas, lo que puede resultar en un mejor desempeño comercial. Se requiere que la alta gerencia sea solidaria con respecto al uso de TI en sus negocios, ya que tienen el poder de facilitar la digitalización de fabricación. La experiencia de TI de los usuarios es un facilitador significativo de la digitalización de fabricación.

El artículo de Xu *et al.* (2018) presenta cómo los avances en la industria y la informática han impulsado avances en la próxima generación de tecnología de fabricación. La industria 4.0 representa la tendencia actual de las tecnologías de automatización en la industria manufacturera, incluyendo principalmente tecnologías habilitadoras como los sistemas ciberfísicos (CPS), “internet de las cosas (IoT)” y la computación en la nube. Además, tiene el potencial de convertirse en el lenguaje global de producción. La industria 4.0 propone la adopción de TIC avanzadas en la fabricación para mejorar la eficiencia y la competencia de fabricación. Esta exitosa industria se basa en tecnologías más sofisticadas que las que están disponibles ahora.

El artículo de Ghobakhloo (2018) es un texto que analiza el futuro de la industria manufacturera: una hoja de ruta estratégica hacia la industria 4.0 concebido como un sistema integrador de creación de valor que se compone de doce principios de diseño y catorce tendencias tecnológicas. La industria 4.0 ya no es una exageración y los fabricantes necesitan participar más pronto que tarde, además, es un sistema dinámico e integrado para ejercer control sobre toda la cadena de valor del ciclo de vida de los productos. Cuando se trata de la cuarta revolución industrial, la gran pregunta es: ¿cómo un fabricante hace su transición de donde está ahora a donde quiere estar a través de los procesos de digitalización? La respuesta sería a través de una hoja de ruta estratégica integral que identifique y planifique cuidadosamente cada paso de la necesidad de tomar, como la última línea de tiempo y los costos y beneficios asociados.

Buer *et al.* (2018) presenta en su artículo un estudio sobre la relación entre la industria 4.0 y manufactura lean. Tanto la industria 4.0 como la manufactura esbelta utilizan un control descentralizado y apuntan a aumentar la productividad y la flexibilidad. La manufactura esbelta es posiblemente el paradigma de manufactura más prominente de los últimos tiempos. También, la manufactura esbelta apoya a las empresas en sus esfuerzos por mejorar en costos de producción, calidad y capacidad de respuesta mejorada y mayor flexibilidad. Los hallazgos de la literatura se clasifican en cuatro flujos de investigación: (1) industria 4.0, apoya la manufactura esbelta; (2) manufactura esbelta, apoya la industria 4.0; (3) implicaciones de rendimiento de una industria 4.0 y una integración de manufactura esbelta; (4) el efecto de los factores ambientales

en una industria 4.0 y una integración de manufactura esbelta. Se concluye que la investigación sobre la relación entre la industria 4.0 y manufactura esbelta aún es muy inmadura.

Clúster 3. Transformación digital

El artículo de Yang *et al.* (2019) está orientado al análisis de las nuevas tecnologías, que están migrando hacia los análisis del Big Data, el IoT, el almacenamiento en la nube y, por ende, la ciberseguridad, para hacer frente a sistemas cada vez más complejos que permitan tener visualización de la información, pero a la vez hacerla lo más segura y exacta posible. Estos avances han contribuido a una fabricación inteligente que integra los protocolos de seguridad, eficiencia y velocidad en los cambios que se realicen, desarrollando nuevas metodologías en internet de manufactura IoMT, pero las innovaciones en la ingeniería deberán transformarse en impulsores de los sistemas de manufactura para hacerla de forma inteligente. La evolución del internet, las redes y la velocidad de los sistemas de cómputo, hacen que la fabricación sea cada vez más flexible, rápida y que precise toma de decisiones mucho más claras y precisas basadas en la información que puedan suministrar los sistemas MtM, el IoT, y los sistemas en la nube, lo que posibilita un buen proceso de SCM y el aseguramiento de las operaciones propias de la empresa.

Entre tanto, el artículo de Wang *et al.* (2015) es una representación del estado actual y el último avance de los sistemas CPS en la fabricación, puesto que comprenderlo involucra su futuro en la fabricación, al apoyarse en la fabricación desde la nube, su interrelación entre los CPS con la manufactura esbelta, con la economía circular y los sistemas de procesos cerrados.

Clúster 4. Manufactura sostenible

Kerin y Pham (2019) analizan en su artículo las condiciones especiales para la remanufactura, teniendo como punto de partida las tecnologías emergentes de la industria 4.0, incluyendo para ello el IoT, la realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR), entre otros, los cuales se han alineado con otras infraestructuras de información a fin de rescatar los sistemas de remanufactura (*refurbished*) para que la organización no pierda tanto en la forma de organizar estas mudas, y no pierda sus procesos en la creación de valor hacia la

búsqueda de una economía circular. Este artículo destaca veintinueve posibles temas de trabajo para lograr ese objetivo.

A su vez, en el artículo de Fisher et al. (2018), se estudia este nuevo concepto de “manufactura en la nube”, generando una ruta posible de procesos sincronizados de tal forma que permita una integración entre la información, los procesos internos y la logística para la entrega. La fabricación tratando de ser optimizada desde el adecuado manejo de la información hacia una fabricación más integrada por cada uno de los procesos, definiendo para ello cuatro puntos básicos en esta integración, estos son: el diseño colaborativo, una mayor automatización, mejora de la capacidad de recuperación del proceso y las 3R aplicadas a los residuos generados, ya que estos últimos son una consideración importante en la manufactura por sus fuertes implicaciones en la sostenibilidad.

Este artículo de Rajput y Singh (2019) busca establecer las conexiones entre la economía circular y la industria 4.0 observándola desde el SCM (*supply chain management*). En el documento, se identifican veintiséis factores habilitadores significativos y quince factores desafiantes que se factorizan aún más mediante el análisis de componentes principales (PCA). Lo que posibilita este campo de estudio que ahora se ha tornado más actual, y junto a las metodologías de mejoramiento como Six Sigma y TPM, y la filosofía del LM, podría aplicarse buscando una interconexión entre todos los protagonistas del sistema de la cadena de abastecimiento (SCM).

Análisis de redes en VOSviewer

Teniendo en cuenta que WOS es el indexador con mayor prestigio mundial, se decidió utilizar la semilla de este, exportando las 500 referencias con mayor relevancia; con esta se revisó la red de cocitaciones de palabras en VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010), que es una herramienta para construir y visualizar redes bibliométricas que pueden estar relacionadas con citas, cocitas, acoplamiento bibliográfico, coautoría o co-ocurrencia de relaciones de palabras y que además permitió generar clúster para identificar grupos o comunidades afines. En la figura 1 se presenta el mapa de las palabras clave, las cuales se puede ver que están separadas por colores, que representan las diferentes tendencias y las líneas que muestran como los diferen-

tes temas interactúan entre ellos.

Desarrollo de la fase cinco

Aporte al currículo

La vigilancia científico-tecnológica representa un aporte significativo a los programas de formación en el área, a la vez que permite identificar temas que hoy son tendencia y que deben ser tenidos en cuenta por la Red Sectorial de Logística y Gestión de la Producción en la tarea de actualizar el catálogo de programas. Es imperante la necesidad de que la Red cuente con una oferta pertinente que dé respuesta a las tendencias actuales en el mundo de la industria, por lo cual cobra gran importancia la presente vigilancia, toda vez que a través de la misma se logró identificar temas que hoy marcan el rumbo de la gestión en la industria, tales como lean manufacturing, industria 4.0, transformación digital y manufactura sostenible, los cuales se convierten en referente para el diseño y actualización de los programas de formación.

La revisión bibliográfica realizada en este estudio, permitió identificar que la gran mayoría de los artículos consultados mencionan herramientas metodológicas que, desde el área de gestión de la producción industrial, se abordan en algunos apoyos; sin embargo, se reconoce que los nuevos postulados involucran no solo dinámicas metodológicas, sino también filosóficas como el lean manufacturing, cuya implementación es dispendiosa y requiere de tiempo para que sea incorporada en los procesos industriales. Si bien estas no son herramientas de rápida implementación en un futuro inmediato, son muy valiosas para la solución de problemas como el 5WH, el árbol de problemas, el SIPOC, la teoría de restricciones, el análisis estadístico de procesos, por mencionar algunos, los cuales proveen herramientas que aportan en la toma decisiones gerenciales de las empresas.

Si bien muchas empresas de la región caldense están en el proceso de implementación de algunas herramientas / metodologías como las de TPM - Total Productive Maintenance (mantenimiento productivo total), las cuales contribuyen al control en los procesos de producción; se hace necesario, entonces, que desde el SENA se adelanten acciones que apunten al fortalecimiento de las mismas, lo cual puede lograrse mediante el diseño de procesos de formación que respondan a

las necesidades de la empresa en materia de gestión y procesos de producción.

En la siguiente tabla se presenta los temas que hoy son tendencia en el área de gestión de la producción industrial y que se sugiere, sean tenidos en cuenta para la actualización o diseño de programas de formación.

Tabla 13.
Líneas tendencia identificadas en la vigilancia tecnológica

Tema identificado	Fuente
Lean manufacturing	Silvério et al. (2020), Gonçalves et al. (2019), Möldner et al. (2020), Amer et al. (2014), Hines et al. (2004)
Manufactura sostenible	Silvério et al. (2020), Yadav et al. (2020), Kerin y Pham (2019)
Six Sigma	Silvério et al. (2020), Yadav et al. (2020)
Industria 4.0	Tortorella et al. (2019); Ghobakhloo y Fathi (2019), Xu et al. (2018), Ghobakhloo (2018)
Smart Manufacturing	Ghobakhloo y Ching (2019)
Internet of things	Yang et al. (2019)
Sistemas ciberfísicos	Wang et al. (2015)
Manufactura en la nube	Fisher et al. (2018)
Supply Chain	Rajput y Singh (2019)

Aporte a la formación docente

Los resultados de la vigilancia científico-tecnológica constituyen una oportunidad para que los docentes / instructores del área identifiquen necesidades de cualificación que les permitan aportar a la pertinencia de los programas de formación. En ese sentido, se identifica la necesidad de incluir dentro de los planes de formación y capacitación de docentes / instructores, temas de vanguardia relacionados con lean manufacturing, Industria 4.0, transformación digital y manufactura sostenible, los cuales son tendencia en los procesos de gestión industrial.

Sumado a lo anterior, cabe anotar que los documentos consultados se convierten en un referente valioso

para el docente / instructor al momento de orientar la formación en programas como Gestión Logística, Gestión de la Producción y Procesos de Manufactura, con lo cual se contribuye a que los contenidos impartidos sean pertinentes y de actualidad.

De la misma manera, se hace importante establecer acercamientos con las instituciones y autores que fueron identificados como referente en la vigilancia, con el fin de gestionar alianzas y convenios que redunden en la cualificación del recurso humano de la institución, y en el fortalecimiento de los procesos de enseñanza-aprendizaje, mediante el intercambio de conocimientos y experiencias exitosas.

Aportes al trabajo interinstitucional y redes de conocimiento

La vigilancia científica realizada en el marco de gestión de la producción industrial, evidencia la importancia de gestionar acercamientos con instituciones y expertos técnicos a nivel nacional, con el fin de hacer un intercambio de conocimientos y experiencias que nutran el quehacer del instructor y por consiguiente los procesos de formación. En este sentido, se identificaron algunas universidades colombianas que vienen trabajando en torno a la gestión de la producción industrial y las cuales podrían convertirse en aliados estratégicos al momento de realizar giras educativas, o, simplemente, establecer oportunidades para el intercambio de conocimientos y experiencias. Las universidades identificadas son: Universidad del Valle, Universidad de la Costa, Universidad de La Sabana, Universidad de Barranquilla, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Aportes a la actualización de laboratorios

El área de gestión de la producción industrial podría considerarse como transversal por el aporte que realiza a otras áreas, como lo son automatización industrial, electrónica, sistemas y telecomunicaciones; esta característica hace que sea necesario pensar en articular los programas no solo desde el punto de vista de los contenidos, sino también desde el punto de vista de los ambientes de formación, lo cual exige contar con los equipos, software e infraestructura requerida para responder a las necesidades de los procesos actuales de manufactura en el campo de la industria. Sumado a lo anterior, se logra evidenciar la necesidad de que el área

cuenta con un ambiente de formación que facilite la simulación de plantas de producción en donde se puedan desarrollar conceptos como: lean manufacturing, manufactura sostenible e industria 4.0, desde el punto de vista de la gestión de procesos. De igual forma, se recomienda articular la gestión de la producción a los ambientes de formación que se han ido modernizando en el Centro de Automatización Industrial del SENA, como es el caso de ambiente de manufactura flexible FMS, el cual se actualizó para implementar la industria 4.0 con recursos entregados a través del banco de proyectos SENNOVA.

Aportes a los grupos de investigación

Con el fin de aportar a la consolidación del área de gestión de la producción industrial, como una línea medular del Centro de Automatización Industrial, se recomienda identificar posibles líneas de investigación en el área que puedan ser articuladas con SENNOVA, para generar proyectos que aborden los procesos de manufactura en la industria, a través de los cuales se incentive el interés de los aprendices en temas relacionados con la gestión industrial.

Conclusiones

El proceso de vigilancia tecnológica permite no solo identificar el panorama en el cual se mueve el área de gestión de la producción industrial, sino también los referentes de desarrollo entre los que se destacan a nivel mundial países como Estados Unidos, Alemania e Italia, asimismo instituciones como Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Politecnico di Milano y CNRS Centre National de la Recherche e investigadores como Zakoldaev, Danil A., Zharinov, Igor Olegovich, Shukalov, Anatoly Vladimirovich y Rauch, Erwin.

Para el caso de Colombia, se cuenta con referentes como la Universidad Nacional de Colombia, Universidad de la Costa, Universidad de La Sabana y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas e investigadores como Andrés Muñoz-Villamizar; Noel Varela Izquierdo, José Ignacio Rodríguez- y Molano, los cuales han realizado publicaciones en el área en los últimos años, por lo que se convierten en referente académico en el campo de la gestión de la producción industrial. Las tendencias identificadas presentadas en la tabla 13 constituyen un hallazgo importante que puede ser

aprovechado para el fortalecimiento de los procesos de formación en la actualización de los diseños curriculares y la modernización de ambientes, pues, en la medida que se incorporen nuevas tecnologías, se podrá estar a la vanguardia de los adelantos tecnológicos para con ello aportar a la pertinencia y calidad de la formación.

Referencias

- Amer, H. y Shaw, C. (2014). Lean Leadership Paradoxes: A Systematic Literature Review. En *Proceedings of the 2014 (5th) International Conference on Engineering, Project, and Production Management*. http://www.ppml.url.tw/EPPM/conferences/2014/download/Lean%20Leadership%20Paradoxes_A%20Systematic%20Literature%20Review.pdf
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. O. y Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *In International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Duque, P. y Cervantes-Cervantes, L. (2019). Responsabilidad social universitaria: una revisión sistemática y análisis bibliométrico. *Estudios Gerenciales*, 35(153), 451-464.
- Fisher, O., Watson, N., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M. y Gomes, R. (2018). Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.03.005>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. <https://doi.org/10.1108/jmtm-02-2018-0057>
- Ghobakhloo, M. y 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>
- Ghobakhloo, M. y Fathi, M. (2019). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology*

Management, 31(1), pp. 1-30. <https://doi.org/10.1108/jmtm-11-2018-0417> jmsy.2015.04.008

Gonçalves, T., Sousa, P. y Moreira, M. (2019). Does lean practices implementation impact on company performance? A meta-analytical research. *Management and Production Engineering Review*, 10(4), 11-24.

Hines, P., Holweg, M. y Rich, N. (2004). *Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking*. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.

Mena, A. M., Erazo, P.A., Salazar, E. X. y Botero, J. C. (2020). Relaciones entre el liderazgo y el síndrome de burnout. Un análisis bibliométrico. *Revista Espacios*, 41(38), 162-181. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p16.pdf>

Möldner, A., Garza-Reyes, J. y Kumar, V. (2020). Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance. *Journal of Business Research*, 106, 233-249). <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.002>

Rajput, S. y Singh, S. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>

Silvério, L., Trabasso, L. G. y Pessôa, M. V. P. (2020). A roadmap for a leanness company to emerge as a true lean organization. *Concurrent Engineering*, 28(1), 3-19. <https://doi.org/10.1177/1063293x19888259>

Tortorella, G., Rossini, M., Costa, F., Staudacher, A. y Sawhney, R. (2019). A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies. *En Total Quality Management & Business Excellence* (pp. 1-22). <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1696184>

Van Eck, N. y Waltman, L. (2010). Software Survey: Vosviewer, A Computer Program For Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.

Wang, L., Törngren, M. y Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(parte. 2), 517-527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>

Xu, L. D., Da Xu, L., Xu, E. L. y Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Yadav, G., Luthra, S., Huisingh, D., Mangla, S. K., Nar-khede, B. E. y Liu, Y. (2020). Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. *Journal of Cleaner Production*, 245, p. 118726. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118726>

Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S. y Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIE Transactions*, 51(11), 1190-1216.