

**Marlén
Suárez Pineda**



Administradora de Empresas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Especialista en Administración de Negocios Internacionales de la Escuela de Administración de Negocios (EAN). Magíster en Administración del Tecnológico de Monterrey (México) y la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Doctora en Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro (México). Docente Asociada de la Escuela de Administración de Empresas y de la Maestría en Administración de Organizaciones de la UPTC, sede Tunja. Investigadora en categoría Junior (en Minciencias) y Directora del Grupo de Investigación Investigadores para el Desarrollo Empresarial y Agroindustrial Sostenible (IDEAS), adscrito a la Escuela de Administración de Empresas, sede Tunja.

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0003-2104-3977>

Correo electrónico:

marlen.suarez@uptc.edu.co



La Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional

**Marlén Suárez Pineda
Sandra Milena Zambrano Vargas
Compiladoras**



La Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional

Volumen 3

Marlén Suárez Pineda
Sandra Milena Zambrano Vargas
Compiladoras

La Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional / The Fourth Industrial Revolution in the organizational field / Suárez Pineda, Marlén; Zambrano Vargas, Sandra Milena (Compiladoras). Tunja: Editorial UPTC, 2023. 184 p.

ISBN (impreso) 978-958-660-781-0

ISBN (ePub) 978-958-660-779-7

Incluye referencias bibliográficas

1. Inteligencia artificial. 2. Capacidades I4.0. 3. Machine learning. 4. Fabricación inteligente. 5. Gestión Organizacional. 6. Liderazgo transformacional.

(Dewey 338.6 /21) (Thema)



Uptc[®]
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



Primera Edición, 2023

90 ejemplares (impresos)

La Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional
The Fourth Industrial Revolution in the organizational field

ISBN (impreso) 978-958-660-781-0

ISBN (ePub) 978-958-660-779-7

Colección Investigación UPTC N°. 276

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: octubre 2022

Aprobación: febrero de 2023

- © Hilda Lucía Jiménez Orozco, 2023
- © Sandra Mimiya Gómez-Ángel, 2023
- © Flor Marlén Ávila-Guerrero, 2023
- © Gladys Yaneth Mariño Becerra, 2023
- © Néstor Josué Franco González, 2023
- © Nubia Yaneth Gómez Velasco, 2023
- © Darío Jesús Quiroga-Parra, 2023
- © Sandra Milena Zambrano Vargas, 2023
- © Rafael Jaime Carmona López, 2023
- © Jesús María Gutiérrez Montes, 2023
- © Patricia Alejandra Pérez Crignola, 2023
- © Fabiola Argandoña Gómez, 2023
- © Nely Pérez Martínez, 2023
- © Iván David Ruiz Rosas, 2023
- © Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2023

Editorial UPTC

Edificio Administrativo – Piso 4

La Colina, Bloque 7, Casa 5

Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá

comite.editorial@uptc.edu.co

www.uptc.edu.co

Libro financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión - Dirección de Investigaciones de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Impreso y hecho en Colombia - Printed and made in Colombia

Libro resultado de procesos de investigación con SGI

Citar este libro / Cite this book

Suárez Pineda, M., & Zambrano Vargas, S. (Compiladoras) (2023). *La Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional*. Editorial UPTC.

DOI: <https://doi.org/10.19053/9789586607810>

Rector, UPTC

Enrique Vera López

Comité Editorial

Dr. Carlos Mauricio Moreno Téllez

Dr. Jorge Andrés Sarmiento Rojas

Dra. Yolima Bolívar Suárez

Mg. Pilar Jovanna Holguín Tovar

Dra. Nelsy Rocío González Gutiérrez

Dra. Ruth Maribel Forero Castro

Dr. Óscar Pulido Cortés

Mg. Edgar Nelson López López

Editor en Jefe

Dr. Óscar Pulido Cortés

Coordinadora Editorial

Andrea María Numpaque Acosta

Corrección de Estilo

Mg. José Inocencio Becerra Lagos

Diseño Portada e Impresión

Editorial JOTAMAR S.A.S.

Calle 57 No. 3 - 39.

Tunja - Boyacá - Colombia.



RESUMEN

La Cuarta Revolución Industrial, caracterizada por la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), la robótica, el internet de las cosas y la computación en la nube, se configura para la gestión organizacional en un ambiente sin precedentes, que augura nuevos procesos de optimización. Algunos beneficios de esas dinámicas de cualificación son las siguientes: la toma de decisiones cuenta con el análisis de grandes cantidades de datos que señalan tendencias y patrones, las secuencias productivas transitan hacia la automatización y la fabricación aditiva, la gestión de suministros asegura su confiabilidad y eficiencia con la cadena de bloques, la gestión humana y la gestión de la relación con stakeholders acude a la realidad aumentada para hacer más eficaces las interacciones. Esta obra representa una aproximación a las hipótesis y desarrollos investigativos que se están planteando, desde la academia, sobre las disrupciones que supone la Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional.

Palabras clave: inteligencia artificial, capacidades I4.0, machine learning, fabricación inteligente, gestión organizacional, liderazgo transformacional.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution, characterized by the integration of advanced technologies such as artificial intelligence, robotics, the Internet of Things and cloud computing, is configured for organizational management in an unprecedented environment. Just to cite a few events: decision-making relies on the analysis of large amounts of data that indicate trends and patterns, production processes move towards automation and additive manufacturing, supply chain management ensures its reliability and efficiency with the Blockchain, human management and stakeholder relationship management resort to augmented reality to make interaction more effective. This work represents an approximation to the hypotheses and research developments that are being raised from the academy, about the disruptions that the Fourth Industrial Revolution supposes in the organizational field.

Keywords: artificial intelligence, I4.0 capabilities, machine learning, smart manufacturing, organizational management, transformational leadership.

Contenido

Introducción.....	10
Revisión sistemática de producción científica en las áreas de negocios, administración y contabilidad.....	13
Carisma transformacional del líder en la Cuarta Revolución Industrial. Estudio del caso de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.....	51
Fabricación inteligente y gemelos digitales en la Industria 4.0.....	83
El impacto del <i>machine learning</i> en el modelo de negocios del <i>vending machine</i> en Colombia. Un cambio en la interacción máquina dispensadora-cliente.....	107
Capacidades de I4.0 enfocadas a procesos de internacionalización. Pymes del departamento de Boyacá.....	135
Sobre los autores.....	173

Índice de tablas

Tabla 1.1. Número de artículos publicados por año sobre Cuarta Revolución Industrial.....	23
Tabla 1.2. Revistas que publican documentos sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial por año.....	24
Tabla 1.3. Autores que más publican sobre el tema.....	27
Tabla 1.4. Afiliación institucional de autores que publican sobre Cuarta Revolución Industrial.....	27
Tabla 1.5. Relación de países y cantidad de publicaciones generadas sobre Cuarta Revolución Industrial.....	30
Tabla 1.6. Relación de artículos por número de veces que son citados.....	31
Tabla 2.1. Modelo transaccional y transformacional (Bass y Avolio, 1994).....	55
Tabla 2.2. Diferencia entre las medias de las variables de primer orden.....	62
Tabla 2.3. Correlación para la alta gerencia académica.....	62
Tabla 2.4. Correlación para la media gerencia académica.....	63
Tabla 2.5. Variables directas para la media gerencia.....	64
Tabla 2.6. Variables directas para la alta gerencia.....	65
Tabla 2.7. Análisis ANOVA de un factor.....	66
Tabla 2.8. Prueba de Tukey. Variables que generan homogeneidad.....	66
Tabla 2.9. Variables que generan diferencias significativas entre sí.....	68

Tabla 2.10. Tabla cruzada de correlaciones entre las doce variables directas.....	70
Tabla 3.1. Estructura de requerimientos de smart manufacturing.....	92
Tabla 4.1. Top de publicaciones relevantes para los términos “machine learning” y “comportamiento del consumidor”	112
Tabla 5.1. Referentes teóricos de variables clave para la internacionalización focalizadas en el marco de la I4.0.....	142
Tabla 5.2. Caracterización de la unidad de estudio.....	146

Índice de figuras

Figura 1.1. Coocurrencia de palabras clave sobre Cuarta Revolución Industrial.....	38
Figura 1.2. Coocurrencia a partir de palabras indexadas sobre Cuarta Revolución Industrial.....	39
Figura 1.3. Acoplamiento bibliográfico de autores que publican sobre Cuarta Revolución Industrial.....	40
Figura 1.4. Acoplamiento bibliográfico entre países que publican sobre Cuarta Revolución Industrial.....	41
Figura 1.5. Cocitación de autores que abordan el tema de la Cuarta Revolución Industrial.....	42
Figura 2.1. Estructura propuesta para el desarrollo de la investigación.....	53
Figura 3.1. De la manufactura tradicional a la fábrica inteligente de SMS.....	94
Figura 4.1. Componentes de comprensión en el proceso de investigación.....	111
Figura 4.2. La evolución del vending machine.....	119
Figura 4.3. Países más productivos en machine learning y comportamiento del consumidor.....	124
Figura 4.4. Producción científica anual sobre machine learning e influencia en el consumer behaviour.....	125
Figura 4.5. Autores más productivos en los temas de machine learning y comportamiento del consumidor.....	126
Figura 4.6. Cocitaciones bibliográficas en los documentos.....	127
Figura 5.1. Resultados.....	147

Figura 5.2. Desarrollo de procesos productivos (DPP).....	149
Figura 5.3. Innovación y jalonamiento competitivo (INJ), parte A.....	150
Figura 5.4. Innovación y jalonamiento competitivo (INJ), parte B.....	152
Figura 5.5. Relacionamiento interno y externo (RIE).....	154
Figura 5.6. Información y sociedad del conocimiento.....	155
Figura 5.7. Concentración de las empresas por grupo y variables analizadas.....	158

Introducción

Nunca antes las transformaciones del entorno organizacional han supuesto tan grandes desafíos para los responsables de la gestión. Las inestabilidades política, económica, sociocultural y ambiental, unidas a las disrupciones tecnológicas, plantean un cambio de paradigma para comprender el diálogo interorganizacional y de la organización con sus comunidades de interés.

La Cuarta Revolución Industrial, marcada por el crecimiento de la inteligencia artificial, los procesos de automatización y los cambios en la producción y distribución de bienes y servicios, alteran profundamente las dinámicas organizacionales a nivel mundial. La investigación en torno al desarrollo, aplicación, adaptación e impactos de estas herramientas se encuentra en constante crecimiento desde las más altas esferas de la ciencia en el orden global. La esencia de la Industria 4.0 se puede definir, acudiendo a Kovacs y Kot (2016), como la introducción de sistemas inteligentes conectados en red, que realizan una producción autorregulada, en la que las personas, las máquinas, los equipos y los productos se comunican entre sí. Se incluyen en esta revolución la impresión 3D, los macrodatos, el internet de las cosas y el internet de los servicios.

Los desafíos planteados al campo de las organizaciones por la Industria 4.0 convergen con los debates sobre el aprendizaje organizacional, en el que se reconoce el valor del liderazgo transformacional, de la cultura orientada a la innovación y las estructuras organizacionales descentralizadas, flexibles y de comunicación horizontal. En este ambiente, la organización explora sobre las transformaciones del entorno, desarrolla nuevo conocimiento y lo explota redefiniendo sus procesos internos para hacerse competitiva y sostenible. En consecuencia, la ventaja competitiva se fundamenta en la capacidad para adaptarse y anticiparse rápidamente a los desarrollos tecnológicos y a los cambios derivados en el comportamiento de los mercados, lo cual supone organizaciones con equipos de personas creativas e innovadoras, capaces de trabajar en ambientes de alta incertidumbre.

Esta publicación compila trabajos de varios grupos de investigación de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, que tienen entre sus líneas temáticas el desarrollo organizacional y la competitividad, y se plantean preguntas alrededor de los avances del campo organizacional en esa imperativa incorporación de los recursos de la Industria 4.0. El libro pretende servir de insumo en las reflexiones sobre la formación para la dirección, la gestión, la innovación, el emprendimiento, y la consideración de nuevas agendas de investigación sobre este tema en particular.

El primer capítulo presenta un análisis bibliométrico a partir de la base de datos Scopus, con el propósito de identificar las tendencias investigativas sobre el tema. Se encontró que una de las perspectivas más frecuentes es la valoración de las implicaciones de la Industria 4.0 en los estilos de vida de las personas y en su comportamiento como miembros de una organización. Los materiales analizados confluyen en declarar como urgente la renovación de los estilos directivos y la formación del personal para autogestionarse en ambientes de transformación digital.

El segundo capítulo se ocupa del liderazgo organizacional desde las perspectivas transaccional y transformacional. El ejercicio investigativo aplica una herramienta de diagnóstico en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través de la cual se concluye que los cambios propuestos por la Cuarta Revolución Industrial se comprenden y adoptan más rápidamente en aquellos niveles en donde es más evidente el liderazgo transformacional. De este modo, el trabajo es una evidencia empírica de las teorías sobre el aprendizaje organizacional basado en el liderazgo que promueve el trabajo en equipo hacia la transformación y la innovación.

El tercer capítulo acerca los conceptos de fabricación inteligente y gemelos digitales a la academia y a la empresa, señalando que su puesta en marcha y su ejecución no revisten mayor complejidad, en tanto los beneficios son innegables para la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones. Subrayan los investigadores que en el ambiente de la Industria 4.0 se pone en primer orden la necesidad de transitar a métodos menos racionalistas para comprender el fenómeno organizacional y reconocer al ser humano como actor esencial. Se demuestra

teóricamente en este trabajo que la fabricación inteligente y los gemelos digitales, gracias a que poseen la capacidad de integrar el mundo físico con el mundo digital, son los principales impulsores de la Cuarta Revolución Industrial.

El cuarto capítulo realiza aportaciones sobre los avances en la automatización de los procesos de compra/venta gestionados con inteligencia artificial. Los investigadores llevan a cabo una revisión sistemática de literatura científica que los lleva a reconocer que el ser humano está transformando su vida diaria por la intersección entre su ser y la tecnología, en una espiral acelerada conocida como *machine learning*.

Para cerrar la obra se presenta el resultado de un trabajo de enfoque cuantitativo, en el que, a partir de una muestra de pequeñas y medianas empresas del departamento de Boyacá, se demuestra que la Industria 4.0 apoya la superación de barreras para la internacionalización, dadas las posibilidades de alcance de eficiencia, velocidad, calidad, personalización y reducción de costos.

Se espera que esta compilación de resultados de investigación aliente nuevos interrogantes que promuevan agendas de investigación vigorosas en torno a la comprensión de las realidades organizacionales en ambientes de rápido desarrollo de los sistemas inteligentes.

Marlén Suárez Pineda Ph. D.

Revisión sistemática de producción científica en las áreas de negocios, administración y contabilidad¹

Hilda Lucía Jiménez Orozco²
Sandra Mimiya Gómez Ángel³
Flor Marlén Ávila Guerrero⁴

Resumen

El propósito del capítulo es identificar algunas tendencias investigativas generadas por la producción de artículos científicos registrados en la base de datos Scopus. Para ello, se desarrolló un análisis bibliométrico compuesto por cuatro etapas: la primera fue una búsqueda del término “Cuarta Revolución Industrial”, esta selección se aplicó por título, resumen y palabras clave; la segunda fue la indagación en las áreas de negocios, administración y contabilidad; la tercera, el estudio

1 El presente capítulo es resultado del proyecto de investigación titulado “Diseño de una estrategia para la implementación de buenas prácticas de gestión, apoyadas en las herramientas 4.0, para las Pymes del Sector Manufacturero de la provincia del Tundama”, institucionalmente inscrito con código SGI-3288, por el Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (GRINDEP), del programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

2 Docente del Programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Directora del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (GRINDEP). Correo electrónico: hilda.jimenez@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9316-9136>

3 Docente del Programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Miembro del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (GRINDEP). Correo electrónico: sandra.gomez02@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-2770>

4 Docente del Programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Miembro del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (GRINDEP). Correo electrónico: flormarlen.avila@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-4401>

de indicadores bibliométricos como artículos por año, autores que más publican, afiliación institucional, relación de países con la cantidad de publicaciones y artículos más citados; la cuarta, el mapeo gráfico de los artículos y sus referencias bibliográficas utilizando VOSviewer. El resultado de la búsqueda contempló 497 documentos en el campo de negocios, gestión y contabilidad, con la tipología de artículo. Dentro de los hallazgos se destaca la identificación de los artículos más citados, según la base de datos Scopus, con los criterios de búsqueda seleccionados, lo cual evidencia una tendencia creciente en las publicaciones, que ha sido relevante a partir del año 2017; debido a lo anterior, se puede inferir que las producciones sobre el tema son recientes. En cuanto a tendencias investigativas sobre la Cuarta Revolución Industrial en el área de negocios, gestión y contabilidad, se identifica la necesidad de fortalecer los procesos adaptativos en el uso de herramientas de la Industria 4.0, y el apoyo en el diseño y operativización de estrategias que potencien la implementación en las organizaciones.

1. Introducción

Las revoluciones de los dos últimos siglos han sido tan céleres y radicales que han cambiado la característica más fundamental del orden social. Tradicionalmente, el orden social era duro y rígido. “Orden” implicaba estabilidad y continuidad. Las revoluciones sociales rápidas eran excepcionales, y la mayoría de las transformaciones sociales provenían de la acumulación de numerosos pasos pequeños (Noah, 2021, p. 400).

La suma de diversos eventos en el desarrollo de la sociedad lleva a cambios desde los diferentes ámbitos y trasciende en el comportamiento de las personas en el engranaje social. Así, las transformaciones plantean retos y expectativas que solo pueden ser enfrentados si primero reciben una interpretación. Muchos de estos retos están inmersos en las mismas dinámicas de las sociedades, que con frecuencia ocurren de manera natural; inclusive, el proceso de adaptación los hace ver como normales y cotidianos.

Algo semejante ocurre con la relación entre los procesos de innovación y las necesidades y expectativas de los consumidores, que llevan a identificar oportunidades, muchas de ellas materializadas en productos y servicios (Schwab, 2019). Lo anterior plantea la necesidad de dar

respuesta de forma ágil a las transformaciones que se están generando en el entorno y que, de alguna forma, deben ser atendidas por parte de la sociedad para su adaptación.

Es de considerar que “todos los nuevos desarrollos y tecnologías tienen una característica común: aprovechan el poder de penetración que tienen la digitalización y las tecnologías de la información” (Schwab, 2019, p. 29). A su vez, ese poder de penetración es causa del contexto en el que está inmersa la Cuarta Revolución Industrial, caracterizada principalmente por los vertiginosos cambios tecnológicos, sociales y ambientales.

Es allí donde se hace relevante reconocer los desarrollos investigativos que se han generado en relación con la Cuarta Revolución Industrial, puesto que es necesario tener en cuenta los avances investigativos, para –a partir de ahí– construir y generar alternativas que permitan a las organizaciones realizar procesos de transformación y adaptación hacia los nuevos retos. Si bien es cierto que se plantea una gama de posibilidades, la era digital también genera riesgos. En consecuencia, el presente capítulo planteó como orientadora la siguiente pregunta: ¿qué tendencias investigativas genera la producción de artículos científicos (en la base de datos Scopus) sobre la Cuarta Revolución Industrial en las áreas de negocios, gestión y contabilidad?

Para dar respuesta a este interrogante se estructuró la investigación a través del desarrollo de un marco teórico, una metodología (guiada por el estudio bibliométrico de publicaciones en la base de datos Scopus) y un apartado de resultados, que presenta los indicadores bibliométricos que permiten el análisis de los artículos más citados. Lo anterior se complementa con un estudio apoyado con el software VOSviewer, que permitió establecer la relación entre palabras clave, citas, autores y países pioneros en el tema. Finalmente, se presentan las conclusiones, algunas propuestas para futuras investigaciones y las referencias bibliográficas. Todo el proceso permitió establecer las tendencias sobre la Cuarta Revolución Industrial.

2. Marco teórico

Los cambios abruptos y radicales se reconocen como revoluciones a lo largo de la historia, cuando nuevas tecnológicas y formas novedosas

de percibir el mundo generan transiciones en los sistemas económicos y las estructuras sociales (Schwab, 2019).

Es así como las revoluciones industriales están permeadas por cambios tecnológicos que modifican formas de producción, transforman procesos económicos y sociales, de trascendencia en la actividad de la humanidad. Particularmente entre los siglos XIX y XX la sociedad ha experimentado el tránsito a través de revoluciones industriales y tecnológicas (Rozo-García, 2020).

Conviene subrayar que dichas transformaciones en los ámbitos económico, productivo, tecnológico y social, se explicitan en tres grandes revoluciones industriales: (a) con la invención de la máquina a vapor, la producción mecánica a finales del siglo XVIII fue la transición de la agricultura y la sociedad feudal a los procesos de fabricación; (b) con la invención del motor de combustión interna surgió la producción industrial en masa, que utiliza el petróleo y la electricidad; y (c) con la aparición de las computadoras personales y del Internet, a partir de los años sesenta del siglo pasado, empezó a predominar la implementación de la electrónica y la tecnología para la automatización de la producción (Frey y Osborne, 2017). Sumada a las anteriores, la Cuarta Revolución Industrial involucra el diseño de productos generados por computadora y la impresión tridimensional (3D), que permite la creación de objetos a partir de la acumulación de capas de materiales (Schwab, 2019).

En este orden de ideas, la Primera Revolución Industrial tuvo lugar en Gran Bretaña, donde se introdujeron máquinas para la producción a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX (1760-1840). Dicho periodo se caracterizó por el trabajo optimizado que realizaban las personas mediante el uso de motores de agua y vapor, y otras máquinas y herramientas (Avansis, 2021). Este proceso fue largo, complejo y sistemático, y generó cambios profundos en la manufactura de la industria artesanal, con el aprovechamiento de las bondades de las máquinas impulsadas por energía hidráulica (González-Hernández et al., 2021).

Por su parte, la Segunda Revolución Industrial comenzó en el siglo XIX con el descubrimiento de la electricidad y su aplicación en la producción y las líneas de montaje; eso permitió aumentar la eficiencia e incluir conceptos de producción en masa como alternativa para incrementar la productividad (Avansis, 2021). Todos estos avances

contribuyeron a la formación de un nuevo sistema técnico que buscaba ampliar los recursos naturales disponibles, usar innovaciones tecnológicas y ahorrar mano de obra, con miras a aumentar los índices de producción, las ganancias, la mano de obra especializada, los precios bajos para los clientes y la incursión con nuevos productos en el mercado (González-Hernández et al., 2021). Sin embargo, tal como señala Schwab (2019), esta revolución todavía es experimentada por el 17 % de la población mundial, en razón de que cerca de 1.300 millones de personas carecen de acceso a la electricidad.

En relación con la Tercera Revolución Industrial, que se da a finales de la década de 1950, hay que decir que surgió lentamente, a medida que los industriales incorporaban la tecnología electrónica y la informática en sus procesos productivos. Lo anterior produjo cambios que llevaron a poner menos énfasis en la tecnología analógica y mecánica, y a darle mayor relevancia a la tecnología digital y al software de automatización, como es el caso de los robots que realizan secuencias programadas sin intervención humana (Avansis, 2021). Esta revolución se caracterizó por las innovaciones tecnológicas, dado el impacto que generaban en la industria electrónica (González-Hernández et al., 2021). No obstante, Schwab (2019) indica que más de la mitad de la población mundial, 4.000 millones de personas (la mayoría de países en desarrollo), no tienen acceso a internet.

De este modo, puede decirse que es evidente que las tres primeras revoluciones generaron cambios en la forma de vivir de la sociedad; sin embargo, ahora, la Cuarta Revolución Industrial se construye sobre la tercera, la Revolución Digital, al punto de fusionar las esferas física, digital y biológica, que son sustentadas con la velocidad, el alcance y el impacto en los sistemas (Xu, David y Kim, 2018). En otras palabras, la Cuarta Revolución Industrial (en curso) propone que el ser humano vaya más allá de sus límites para generar diferentes formas de producir, vivir (Ramírez y Torres, 2019) y convivir.

Por otro lado, el concepto de la Cuarta Revolución Industrial se asocia con la Industria 4.0. Según Liao et al. (2017), este término es ampliamente aceptado aun cuando no existe una definición compartida; lo anterior a pesar de que en los últimos años han proliferado estudios, tanto de académicos como de consultores, en los que se usan otras

palabras como sinónimos, tales como *Cyber-Physical System* (CPS), *Smart Factory/Manufacturing* e *Internet of Things*.

En cuanto a la literatura existente, Agostini y Filippini (2019) destacan la presencia de estudios sobre diferentes prácticas organizacionales y gerenciales en tres niveles: recursos humanos, empresa y suministro de tecnologías de la Industria 4.0, sin adoptar un enfoque global y sin probar empíricamente la asociación con la implementación de dinámicas de la Cuarta Revolución Industrial.

Otro aspecto a recalcar es la llegada de transformaciones como el internet de las cosas y los servicios en el entorno de la fabricación, que dan inicio a la Cuarta Revolución Industrial. Se destaca la dinámica de las empresas en establecer redes globales que incorporarán su maquinaria, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción en forma de *Cyber-Physical Systems* (CPS), es decir, la aplicación de sistemas ciberfísicos que incluyen máquinas inteligentes, automatización total de la manufactura, internet y tecnologías orientadas al futuro, sistemas inteligentes con interacción hombre-máquina, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción capaces de intercambiar información autónomamente. A diferencia de la planificación de producción convencional basada en pronósticos, la Industria 4.0 permite en tiempo real la planificación de la producción, junto con la autooptimización dinámica; lo anterior conlleva a un enfoque de producción novedoso relacionado con las fábricas inteligentes (Kagermann et al., 2013; Perasso, 2016; Sanders et al., 2016). Sobre estas últimas, señala Schwab (2019) que:

Mediante la creación de “fábricas inteligentes”, la Cuarta Revolución Industrial genera un mundo en el que sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de una manera flexible en todo el planeta. Esto permite la absoluta personalización de los productos y la creación de nuevos modelos de operación. (pp. 15-16)

Por consiguiente, la Cuarta Revolución Industrial se enfoca en los ecosistemas digitales, que se expresan a través de modelos de negocios innovadores basados en la interconectividad de usuarios y máquinas, en otras palabras, se trata de un sistema que interactúa permanentemente (Escudero, 2018).

En este punto, vale la pena destacar características de la Cuarta Revolución Industrial a través de algunos de sus elementos fundamentales: la interconexión se refiere al uso del internet de las cosas para el mejoramiento del rendimiento de la cadena productiva; la transparencia de la información permite a los operadores la recolección de grandes cantidades de datos e información de los diferentes puntos del proceso de fabricación, contribuyendo a la funcionalidad y a los procesos de mejora e innovación; en la descentralización las máquinas no dependen de la intervención del ser humano para funcionar, puesto que cuentan con sensores conectados a una red que tienen la capacidad de tomar decisiones automatizadas a partir de los datos de rendimiento ya recopilados; se maneja una dinámica de respuesta en tiempo real, a partir de la información procesada, lo que sirve de base para que se tomen decisiones informadas; finalmente, a través de la modularidad cualquier línea de fabricación puede ir cambiando de acuerdo con los requerimientos de producción (Avansis, 2021).

Sin embargo, Schwab (2019) subraya que la Cuarta Revolución Industrial no solo consiste en la presencia de máquinas y sistemas inteligentes e interconectados, sino que su alcance va orientado hacia la producción de avances en ámbitos que van desde la secuenciación genética hasta la nanotecnología, desde las energías renovables hasta la computación cuántica; es así como la fusión de estas tecnologías y su interacción permea los dominios físicos, digitales y biológicos, lo que hace que esta revolución sea fundamentalmente diferente a las anteriores.

En este orden de ideas, se destaca la relevancia de las megatendencias que identifica Schwab (2019), reconocidas como impulsores tecnológicos de la Cuarta Revolución Industrial, organizados en tres grupos: físicos, digitales y biológicos, que están interrelacionados y se benefician entre sí, dados los descubrimientos y avances que cada conjunto ha conseguido.

Dichos grupos tienen que ver con los ámbitos de *lo físico*, por su carácter tangible: vehículos autónomos, impresión 3D, robótica avanzada, nuevos materiales; de *lo digital*, las conexiones entre aplicaciones físicas y digitales, en otras palabras, el internet de las cosas, que permite describir cómo una relación entre las cosas (como productos, servicios,

lugares) y las personas es posible mediante tecnologías conectadas, plataformas y sensores para vincular las cosas del mundo físico a redes virtuales; de *lo biológico*, las innovaciones en este campo se han dado con progresos en la secuenciación genética, activación o modificación de genes; así, la biología sintética es el siguiente paso, que proporcionará la posibilidad de personalizar los organismos mediante la configuración del ADN, con incidencias en la medicina, la agricultura y la producción de biocombustibles (Schwab, 2019).

Por otro lado, se resaltan los impactos que genera la Cuarta Revolución Industrial en los negocios, basados en que las expectativas del cliente están cambiando, los productos se están perfeccionando a partir de los datos de mejora de la productividad, la formación de nuevas alianzas a medida que las organizaciones comprenden la importancia de otras formas de colaboración y las dinámicas operativas que se están transformando en nuevos modelos digitales (Schwab, 2019).

Por ende, se vislumbran desafíos que deben ser considerados para anticipar acciones, dado que el contexto situacional llevará hacia una transformación en diferentes ámbitos de la interacción del ser humano, por ello se destaca que:

Solo podemos enfrentarnos de manera significativa a estos desafíos si movilizamos la sabiduría colectiva de nuestras mentes, corazones y almas. [...], debemos adaptar, moldear y aprovechar el potencial de disrupción mediante el cultivo y la aplicación de cuatro tipos de inteligencia: Contextual –la mente–: cómo entendemos y aplicamos nuestros conocimientos. Emocional –el corazón–: cómo procesamos e integramos nuestros pensamientos y sentimientos, y cómo nos relacionamos con nosotros mismos y con los demás. Inspirada –el alma–: cómo usamos un sentido de propósito individual y compartido, así como la confianza y otras virtudes para alcanzar un cambio y actuar en pro del bien común. Física –el cuerpo–: cómo cultivamos y mantenemos nuestra salud y bienestar, así como la de aquellos que nos rodean, con el fin de estar en condiciones de aplicar la energía necesaria para la transformación individual y de los sistemas. (Schwab, 2019, p. 117)

Adicionalmente, desde el componente de la gestión de la organizaciones se vislumbran retos que, en palabras de Montoya-Restrepo (2021), tienen que ver con nuevos modelos de negocios fundamentados en la generación; uso y apropiación de información online para la toma de decisiones; gestión de conocimiento experto, cualificado y en tiempo real; acceso a inversiones para contar con mecanismos de producción y mercados en industrias especializadas; otros desafíos tendrán que ver con la posibilidad de mayores desigualdades interregionales, diferentes formas de desempleo, así como dependencias tecnológicas. No obstante, el reto central parece ser el fomento del buen vivir para no permitir que las transformaciones emergentes generen límites a la libertad del espíritu del ser humano.

3. Metodología

Hacer un seguimiento de la calidad y cantidad de producciones investigativas es una necesidad para la toma de decisiones al momento de reconocer los avances que se han dado sobre un tema en particular. Para ello, se utilizan los estudios bibliométricos, ya que permiten determinar las producciones más relevantes (con sus hallazgos y propuestas) para futuras investigaciones.

Particularmente, este análisis se realiza a partir de una búsqueda bibliográfica en la que se utiliza la base de datos Scopus, que se caracteriza por tener una amplia cobertura a nivel internacional (Lis-Gutiérrez y Bahos-Olivera, 2016). Así mismo, cuenta con resúmenes y citas de literatura revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de congresos; por consiguiente, Scopus presenta herramientas inteligentes para rastrear, analizar y visualizar la investigación (Scopus, 2022).

En este sentido, para buscar producciones investigativas enfocadas en el tema de la Cuarta Revolución Industrial, se desarrollaron las siguientes etapas:

Etapas 1. El estudio utiliza como término de búsqueda las palabras “Cuarta Revolución Industrial”, con la sintaxis “four* industri* revolut*”. Esta selección se aplicó por título, resumen y palabras clave, para determinar la muestra a considerar en el rastreo de la literatura científica que demostraría el avance en el área. El análisis vinculó cualquier

trabajo disponible en Scopus entre 2011 y 2021, puesto que en este periodo se presentó un comportamiento creciente en las publicaciones pasando de 1 a 1175 documentos.

Como resultado de esta búsqueda se encuentran 3999 documentos, clasificados de la siguiente forma: artículos (1797), documentos de conferencias (1550), capítulos de libro (301), revisiones (230), libros (43), editoriales (37), conferencias (18), notas (10), encuestas cortas (6), cartas (5), documento de datos (1), errata (1).

Etapa 2. Adicionalmente, la búsqueda fue definida por las áreas de negocios, administración y contabilidad. Después de aplicar este filtro, el rastreo genera una muestra de 854 documentos: artículos (497), documentos de conferencias (219), capítulos de libro (62), revisiones (40), libros (26), editoriales (6), notas (2), cartas (1), encuestas cortas (1).

Para efecto del presente análisis, se tomaron los 497 documentos que están dentro de la tipología de artículos, resultado generado con la siguiente ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (“four* industri* revolut*”) AND (EXCLUDE (PUBYEAR, 2022)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “BUSI”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”)).

La anterior ecuación de búsqueda hizo referencia a la Cuarta Revolución Industrial. Se hizo la indagación en el título, resumen y palabras clave, lo cual permitió identificar que es un tema multidisciplinario; por tanto, fue necesario delimitarlo para el área de negocios, administración y contabilidad, con el ánimo de establecer un análisis focalizado. Además, se revisaron los artículos, puesto que dan cuenta de hallazgos actualizados y son producto tanto de un proceso de editorial como de una evaluación rigurosa.

Dichos datos fueron organizados por la variable de los más citados. Se decidió tomar para el proceso los treinta artículos con más citas, de acuerdo con la base de datos Scopus, lo cual genera un rango de citación que va de 37 a 1061 citas.

Etapa 3. Además, este estudio incluyó el indicador bibliométrico de artículos por año, los autores que más publican sobre la Cuarta Revolución Industrial, la afiliación institucional de los autores por el número de artículos publicados, la relación de países y la cantidad de

publicaciones generadas, y la relación de artículos más citados; estos indicadores bibliométricos aportan información centrada en las investigaciones y en sus contribuciones para la comprensión del avance de la bibliografía sobre el tema.

Etapa 4. Finalmente, el estudio mapea gráficamente los artículos y sus referencias bibliográficas utilizando VOSviewer, cuya herramienta permite la integración de los datos generados en la búsqueda de Scopus y lleva a procesar la información para la cocitación, acoplamiento bibliográfico y coocurrencia.

4. Resultados

El resultado de la búsqueda arrojó 497 documentos, luego de que se agregara el filtro en el campo de negocios, gestión y contabilidad, y con la tipología de documento para “artículo”. La producción de documentos con el término “Cuarta Revolución Industrial”, en el título, las palabras clave o el resumen, presenta una tendencia creciente a partir de 2015, pasando de 3 documentos en 2015 a 179 en 2021.

A continuación, se presentan los resultados de esta contribución bibliométrica entre los años 2013 y 2021 en la base de datos Scopus:

Tabla 1.1

Número de artículos publicados por año sobre Cuarta Revolución Industrial

Año	Número de documentos
2021	179
2020	152
2019	84
2018	51
2017	22
2016	5
2015	3
2014	0
2013	1

Nota. Construcción propia a partir de la base de datos Scopus (2022).

Tal como se observa en la tabla anterior, el tema de la Cuarta Revolución Industrial es reciente, dado que gran parte de los artículos publicados se han generado entre los años 2017 y 2021.

Principales revistas, autores, universidades y países

En cuanto a las revistas que más publican sobre el tema, se puede apreciar su relación en la siguiente tabla.

Tabla 1.2

Revistas que publican documentos sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial por año

Nombre de la revista	Número de documentos por año
Technological Forecasting and Social Change	39
ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	16
International Journal of Production Research	10
International Journal of Recent Technology and Engineering	9
IEEE Transactions on Engineering Management	8
International Journal of Production Economics	7
Technology in Society	7
Academy of Entrepreneurship Journal	6
Economy of Region	6
IEEE Engineering Management Review	6
Journal of Industrial and Business Economics	6
Journal of Manufacturing Technology Management	6
Technology Analysis and Strategic Management	6
Worldwide Hospitality and Tourism Themes	6
Economic and Labour Relations Review	5
Futures	5
International Journal of Construction Management	5
Polish Journal of Management Studies	5
Problems and Perspectives in Management	5

Quality Access to Success	5
Revista Venezolana de Gerencia	5
Engineering Construction and Architectural Management	4
Entrepreneurial Business and Economics Review	4
Espacios	4
Foresight and Sti Governance	4
International Journal of Supply Chain Management	4
Journal of Management Information and Decision Sciences	4
Journal of System and Management Sciences	4
Logforum	4
Management and Production Engineering Review	4
Production Planning and Control	4
Systems Research and Behavioral Science	4
Administrative Sciences	3
Business Process Management Journal	3
Competitiveness Review	3
E A M Ekonomie A Management	3
Electronic Journal of Business Research Methods	3
Engineering Economics	3
Engineering Management in Production and Services	3
Industria	3
International Journal of Ebusiness and Egovernment Studies	3
International Journal of Technology	3
Journal of Asian Finance Economics and Business	3
Journal of Governance and Regulation	3
Management Systems in Production Engineering	3
Productivity Management	3
SA Journal of Human Resource Management	3
South African Journal of Economic and Management Sciences	3
TEM Journal	3
Total Quality Management and Business Excellence	3

Nota. Construcción propia a partir de la base de datos Scopus (2022).

Entre las revistas relacionadas se destacan las siguientes:

Technological Forecasting and Social Change, de acuerdo con el Scimago Journal & Country Rank (SJR) se encuentra en cuartil Q1. Centra su atención en estudios sobre tecnología, desde lo metodológico y lo práctico, así como en investigaciones sobre herramientas que permitan la interacción entre factores sociales, ambientales y tecnológicos; es una revista de Estados Unidos y su editor es Elsevier Inc (Scimago Journal & Country Rank, 2022).

ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, según SJR está ubicada en el cuartil Q3. Publica artículos sobre desarrollos en ingeniería de la producción, procesos de servicios industriales, eficiencia de procesos de producción y reducción de costos, hace hincapié en la mano de obra como factor de éxito para la implementación de nuevas tecnologías de producción; es una revista alemana y su editor es Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Scimago Journal & Country Rank, 2022).

International Journal of Production Research, de acuerdo con SJR está en el cuartil Q1. Publica sobre temas relacionados con la gestión de operaciones, gestión de la innovación, diseño de productos, procesos de fabricación, sistemas de producción y logística, vincula trabajos sobre economía de la producción, comportamiento de recursos y sistemas de producción, así como sobre los problemas de decisión que surgen en las tareas de diseño, gestión y control, estrategia de fabricación, formulación y evaluación de políticas, y contribución de nuevas tecnologías; es una revista de Estados Unidos y su editor es Taylor and Francis Ltd (Scimago Journal & Country Rank, 2022).

En relación con los autores que más publican sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial, en la Tabla 1.3 se relacionan los que tienen más de tres artículos publicados en la base de datos Scopus.

Tabla 1.3

Autores que más publican sobre el tema

Autor	Número de documentos publicados
Aigbavboa, C.	4
Götz, M.	4
Sony, M.	4
Telukdarie, A.	4
Umar, M.	4
Tortorella, G.	6
Ajagunna, I.	3
Alam, G. M.	3
Frederico, G. F.	3
Kohnová, L.	3
Rizvi, S.K.A.	3
Romanova, O. A.	3
Shao, X. F.	3
Su, C. W.	3
Tan, Z.	3

Nota. Elaboración propia a partir de información generada en Scopus (2022).

Por otro lado, la afiliación institucional de los autores que más publican sobre el tema es expuesta en la Tabla 1.4. Se tienen en cuenta instituciones vinculadas a más de tres artículos.

Tabla 1.4

Afiliación institucional de autores que publican sobre Cuarta Revolución Industrial

Afiliación institucional	Número de artículos publicados
University of Johannesburg	20
Universidade Federal de Santa Catarina	8
Sungkyunkwan University	7
Qingdao University	7
Universiti Putra Malaysia	6

Lahore University of Management Sciences	6
Suleman Dawood School of Business	6
Università degli Studi di Padova	5
University of South Africa	5
Guilin University of Electronic Technology	5
RMIT University	5
Seoul National University	5
North-West University	5
Financial University under the Government of the Russian Federation	5
Caribbean Maritime University	5
Università degli Studi di Torino	4
Universidade Federal do Parana	4
University of the Witwatersrand, Johannesburg	4
Western Sydney University	4
The University of Sydney	4
University of Melbourne	4
Namibia University of Science and Technology	4
Institute of Economics of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences	4
Budapesti Corvinus Egyetem	3
Universiti Kebangsaan Malaysia	3
Univerzita Komenského v Bratislave	3
Universiti Teknologi MARA	3
East West University	3
Old Dominion University	3
Silesian University of Technology	3
Indian Institute of Foreign Trade	3
Częstochowa University Of Technology	3
Free University of Bozen-Bolzano	3
University of KwaZulu-Natal	3

The University of Newcastle, Australia	3
LUT University	3
University of Dhaka	3
The University of Tennessee, Knoxville	3
Cracow University of Economics	3
HSE University	3
Universiteit Twente	3
Universidade de Coimbra	3
University of Pretoria	3
Taras Shevchenko National University of Kyiv	3
Chongqing University	3
Federal University of Technology, Akure	3
Shanxi University of Finance and Economics	3
Covenant University	3
Lahore School of Economics	3
Vistula University	3
ESCP Europe Business School, París	3

Nota. Elaboración a partir de información generada en Scopus (2022).

Las cuatro universidades que encabezan la lista por el número de publicaciones son las siguientes:

La Universidad de Johannesburgo lleva el nombre de la ciudad donde se encuentra, orienta su quehacer en la actualización del potencial que tiene la educación superior para el desarrollo del continente sudafricano (University of Johannesburg, 2022). La Universidade Federal de Santa Catarina es la cuarta mejor universidad federal de Brasil, cuenta con varios grupos de investigación, que reúnen a profesores, técnicos y estudiantes, se destaca el trabajo de extensión con impacto directo en la sociedad (Universidade Federal de Santa Catarina, 2022). La Universidad de Sungkyunkwan ofrece educación de clase mundial al producir investigaciones ejemplares y ser un centro global para mejorar la red de conocimiento, es una institución ubicada en Corea del Sur (Sungkyunkwan University, 2022). La Universidad Qingdao, ubicada en China, ofrece programas de pregrado relacionados con literatura, historia,

filosofía, derecho, economía, administración, ciencias naturales, ingeniería, ciencias médicas y educación; cuenta con laboratorios y centros de investigación de ingeniería (Round University Ranking, 2022).

También se revisó la variable de nacionalidad, para observar qué países están más interesados en el tema, a partir de la cantidad de publicaciones registradas. La lista se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1.5

Relación de países y cantidad de publicaciones generadas sobre Cuarta Revolución Industrial

País	Número de publicaciones
Sudáfrica	52
Estados Unidos	36
Corea del Sur	34
China	32
Rusia	32
Reino Unido	32
Australia	31
Alemania	30
Italia	28
India	27
Polonia	27
Malasia	23
Brasil	20
Francia	15
Pakistán	14
Eslovaquia	12
Nigeria	10
España	10
Turquía	10

Nota. Elaboración a partir de información generada en Scopus (2022).

Con veinte publicaciones o más y en su orden, los países más destacados son: Sudáfrica, Estados Unidos, Corea del Sur, China, Rusia, Reino Unido, Australia, Alemania, Italia, India, Polonia, Malasia y Brasil.

Contribuciones desde artículos más citados

A continuación, se relacionan los treinta artículos más citados, a partir de los resultados generados en la base de datos Scopus.

Tabla 1.6

Relación de artículos por número de veces que son citados

No.	Autores	Año	Título del artículo	Revista	Citas
1	Xu L. D., Xu E.L., y Li L.	2018	Industry 4.0: State of the art and future trends	International Journal of Production Research	1061
2	Horváth D., y Szabó R.Z.	2019	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?	Technological Forecasting and Social Change	248
3	Sung T.K.	2018	Industry 4.0: A Korea perspective	Technological Forecasting and Social Change	209
4	Büchi G., Cugno M., y Castagnoli R.	2020	Smart factory performance and Industry 4.0	Technological Forecasting and Social Change	179
5	Xu M., David J.M., y Kim S.H.	2018	The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges	International Journal of Financial Research	179
6	Ślusarczyk B.	2018	Industry 4.0 – Are we ready?	Polish Journal of Management Studies	174

7	Syam N., y Sharma A.	2018	Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice	Industrial Marketing Management	171
8	Ardito L., Petruzzelli A.M., Panniello U., y Garavelli A.C.	2019	Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration	Business Process Management Journal	158
9	Bai C., Dalla-sega P., Orzes G., y Sarkis J.	2020	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective	International Journal of Production Economics	127
10	Bienhaus F., y Haddud A.	2018	Procurement 4.0: factors influencing the digitisation of procurement and supply chains	Business Process Management Journal	123
11	Culot G., Nas-simbeni G., Orzes G., y Sartor M.	2020	Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions	International Journal of Production Economics	118
12	Bokrantz J., Skoogh A., Berlin C., y Stahre J.	2017	Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030	International Journal of Production Economics	112
13	Hirschi A.	2018	The Fourth Industrial Revolution: Issues and Implications for Career Research and Practice	Career Development Quarterly	110
14	Pfeiffer S.	2017	The Vision of "Industrie 4.0" in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded	NanoEthics	108

15	Su C.W., Qin M., Tao R., y Umar M.	2020	Financial implications of fourth industrial revolution: Can bitcoin improve prospects of energy investment?	Technological Forecasting and Social Change	104
16	Santos M.Y., Oliveira e Sá J., Andrade C., Vale Lima F., Costa E., Costa C., Martinho B., y Galvão J.	2017	A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy	International Journal of Information Management	101
17	Tortorella G.L., Cawley Vergara A.M., Garza-Reyes J.A., y Sawhney R.	2020	Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers	International Journal of Production Economics	100
18	Tortorella G.L., Giglio R., y van Dun D.H.	2019	Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement	International Journal of Operations and Production Management	90
19	Cheng Y., Awan U., Ahmad S., y Tan Z.	2021	How do technological innovation and fiscal decentralization affect the environment? A story of the fourth industrial revolution and sustainable growth	Technological Forecasting and Social Change	87
20	Agostini L., y Filippini R.	2019	Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0	European Journal of Innovation Management	83
21	Mariani M., y Borghi M.	2019	Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries	Technological Forecasting and Social Change	78

22	Wilkesmann M., y Wilkesmann U.	2018	Industry 4.0 – organizing routines or innovations?	VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems	77
23	Fatorachian H., y Kazemi H.	2021	Impact of Industry 4.0 on supply chain performance	Production Planning and Control	71
24	Hahn G.J.	2020	Industry 4.0: a supply chain innovation perspective	International Journal of Production Research	71
25	Neumann W.P., Winkelhaus S., Grosse E.H., y Glock C.H.	2021	Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development	International Journal of Production Economics	67
26	Sony M., y Naik S.	2020	Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction	Production Planning and Control	65
27	Weking J., Stöcker M., Kowalkiewicz M., Böhm M., y Krcmar H.	2020	Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework	International Journal of Production Economics	63
28	Kipper L.M., Furstenu L.B., Hoppe D., Frozza R., y Iepesen S.	2020	Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011-2018): a bibliometric analysis	International Journal of Production Research	62
29	Whysall Z., Owtram M., y Brittain S.	2019	The new talent management challenges of Industry 4.0	Journal of Management Development	62
30	Sony M., y Naik S.	2020	Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model	Technology in Society	61

Nota. Elaboración a partir de información generada en Scopus (2022).

La Tabla 1.6 muestra la relación de autores, artículos y revistas que son más citados, para el periodo 2013 a 2021. De esos nueve años se toma el intervalo de 2018-2020 porque representa el plazo en el que más se han generado producciones sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial. En este orden de ideas, se revisaron los cinco artículos más citados, que fueron publicados entre 2018 y 2020. A continuación, serán descritos.

El primero se titula “Industria 4.0: Estado del arte y tendencias futuras”, y fue escrito por Xu et al. (2018). Este artículo reconoce los rápidos avances en la industrialización y los métodos de informatización que han llevado al desarrollo de la próxima generación de tecnología de fabricación. Los autores observan que la Industria 4.0 y el sello de “Hecho en China, 2025” requieren de la combinación de diversas aplicaciones y de nuevas tecnologías emergentes; dichas tecnologías se originan en diferentes disciplinas, incluidos los sistemas ciberfísicos, IoT, computación en la nube, integración industrial, arquitectura empresarial, gestión de procesos comerciales, integración de información industrial, entre otros. Aunque se reconoce la necesidad de herramientas para potenciar la Industria 4.0, en este artículo se examina brevemente el estado de la cuestión en el área de la Industria 4.0 en lo que se refiere a las industrias.

El segundo artículo se titula “Impulsores y barreras de la Industria 4.0: ¿Tienen igualdad de oportunidades las multinacionales y las pequeñas y medianas empresas?”. Fue escrito por Horváth y Szabó (2019), quienes indican que la Cuarta Revolución Industrial plantea importantes retos a las empresas manufactureras desde lo tecnológico, lo organizativo y la gestión. Los autores encontraron que el deseo de la gerencia de aumentar el control y permitir la medición del rendimiento en tiempo real es una fuerza impulsora significativa de la Industria 4.0, aunada a los factores de producción. No obstante, la resistencia organizacional, tanto a nivel de empleados como de la gerencia media, puede obstaculizar la introducción de tecnologías de la Industria 4.0, a pesar de que estas tecnologías pueden apoyar el proceso de transformación de las funciones de gestión. Finalmente, los autores destacan que las empresas multinacionales tienen menores barreras a la Industria 4.0, comparadas con las pequeñas y medianas empresas; aunque, como panorama alentador, en general se pueden identificar buenas oportunidades de aplicación.

El tercer artículo aparece con el nombre de “Industria 4.0: Una perspectiva de Corea”, de autoría de Sung (2018). En él se presenta una discusión detallada y práctica de la Industria 4.0, y se sugieren implicaciones políticas para la transición hacia dicha revolución en Corea. Dentro de los aspectos más relevantes está el hecho de que las empresas deban considerar la Industria 4.0 con mayor seriedad, a medida que desarrollan sus iniciativas futuras; lo anterior debido a que los modelos de negocio de fabricación tradicionales no encajan con las tecnologías emergentes de la Industria 4.0. Se debe prestar atención a problemas como seguridad, confiabilidad y estabilidad del internet de las cosas, debido a que estos ítems son imprescindibles para la comunicación máquina a máquina. Se da la necesidad de mantener la integridad de los procesos de producción, evitar inconvenientes del internet de las cosas y proteger los conocimientos técnicos industriales. Además, se observan deficiencias en cuanto a habilidades adecuadas para el manejo de la Industria 4.0, la renuencia al cambio por parte de los interesados y la pérdida de muchos empleos debido a procesos automatizados y controlados por tecnología. Por tanto, para transformar con éxito la industria coreana hacia la Industria 4.0, se recomienda que se ajusten y elaboren las estrategias promulgadas por el gobierno central para construir sistemas económicos y sociales que puedan responder de modo flexible a los cambios; se establezca algún tipo de sistema operativo para maximizar la efectividad de las iniciativas y políticas; se desarrollen planes de acción concretos y viables para la transición hacia sistemas económicos y sociales que puedan acomodar cambios innovadores; y se prepare la infraestructura para liderar cualquier iniciativa.

El cuarto artículo se titula “Rendimiento de la fábrica inteligente e Industria 4.0”, sus autores, Büchi et al. (2020), analizan la relación entre el grado de apertura y rendimiento industrial a través de un estudio empírico basado en una muestra que representa las unidades de fabricación locales. En su texto se destaca que el rendimiento se mide por el alcance de las oportunidades que obtienen las empresas; mientras que el grado de apertura se investiga utilizando dos indicadores: amplitud (número de tecnologías usadas) y profundidad (número de etapas de la cadena de valor involucradas). Por otro lado, se resalta que la verificación de oportunidades para las empresas con Industria 4.0 es importante, dado que las inversiones son altas en términos de costos,

adquisición de nuevas habilidades y riesgos de obsolescencia, todo con el fin de tomar decisiones estratégicamente. Los autores anuncian que, a pesar de la aplicación limitada de la Industria 4.0, los resultados recomiendan incentivar a los gerentes y responsables políticos a implementar una gama más amplia de tecnologías habilitadoras en las diversas etapas de la cadena de valor.

Por último, el quinto artículo, “La Cuarta Revolución Industrial: oportunidades y desafíos”, de Xu et al. (2018), describe las transformaciones que han generado las revoluciones industriales y destaca que, aunque cada revolución ha sido considerada como un evento separado, todas se pueden comprender mejor si se integran los hallazgos que se basan en innovaciones de la revolución anterior y conducen a formas de producción más avanzadas.

Análisis gráfico de la Cuarta Revolución Industrial con VOSviewer

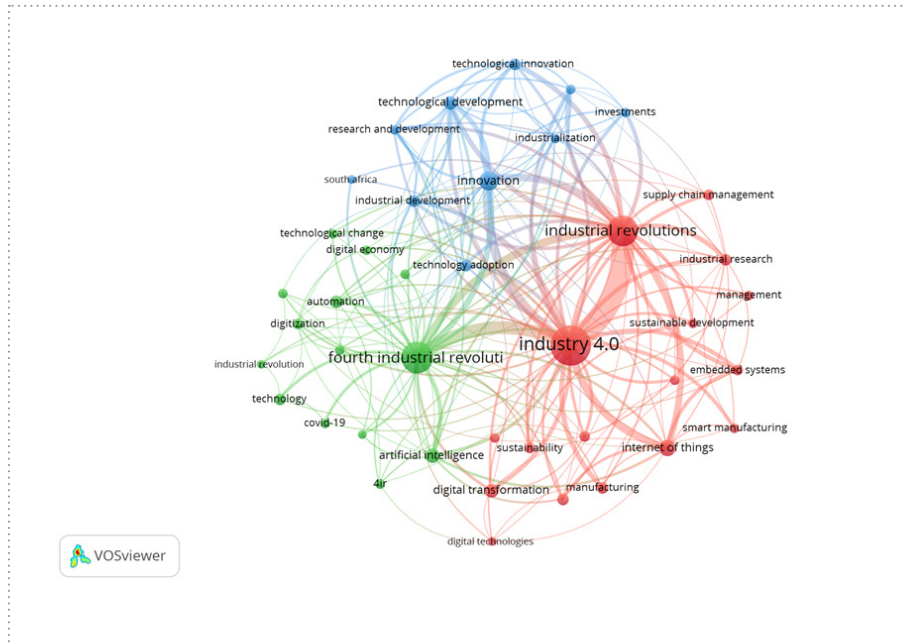
Con el ánimo de proporcionar un estudio detallado de los resultados generados en la base de datos Scopus, se procedió a analizar gráficamente el material bibliográfico. Para ello, se utilizó el software VOSviewer. Según van Eck y Waltman (2010), esta herramienta permite la construcción y visualización gráfica del acoplamiento, citas y cocitaciones, coautoría y coocurrencia; en este caso con datos extraídos de la base de datos de Scopus.

Desde el punto de vista conceptual, se entiende como acoplamiento bibliográfico el hecho de que dos documentos citen un tercer artículo; por su parte, la cocitación entre dos documentos se produce cuando reciben una cita del mismo tercer artículo; mientras que la coocurrencia mide las palabras clave más comunes y las que aparecen con más frecuencia en los mismos artículos (Santamaría Ayala, 2021).

Ahora bien, el análisis adelantado arrojó los siguientes resultados: la coocurrencia de palabras clave presenta un mínimo de coincidencia de diez (10) palabras, generando cuarentaiún (41) términos que son integrados en seis (6) clústeres. Estos pueden ser apreciados en la siguiente figura.

Figura 1.1

Coocurrencia de palabras clave sobre Cuarta Revolución Industrial



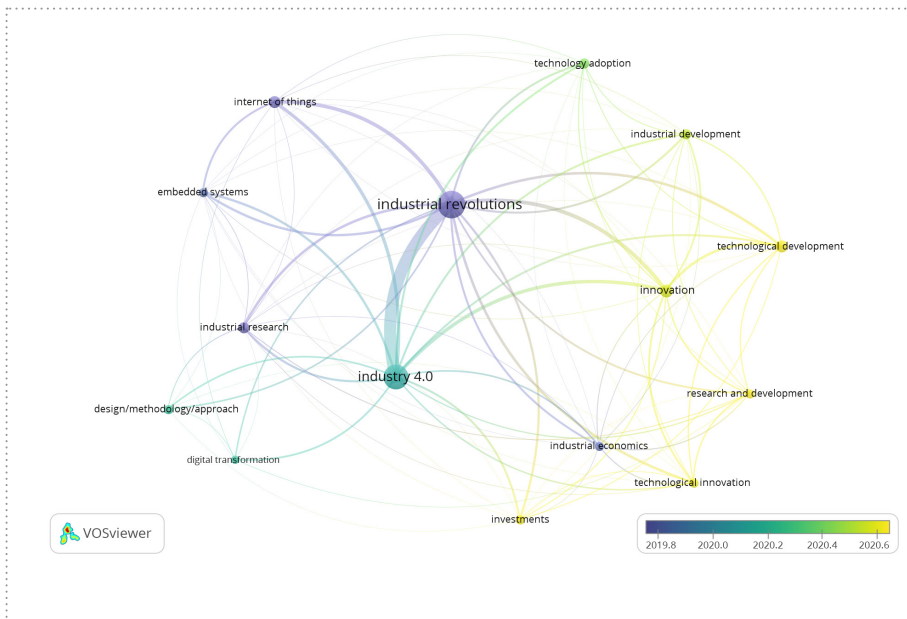
Nota. Elaboración a partir de la herramienta VOSviewer, de Van Eck y Waltman (2021).

Con base en la coocurrencia, se puede identificar que las palabras clave más relevantes son: Industria 4.0, Cuarta Revolución Industrial, revoluciones industriales, innovación, economía industrial, innovación tecnológica, inteligencia artificial, automatización, Big Data, industrialización, cambio tecnológico y desarrollo tecnológico, principalmente.

En la Figura 1.2 se da cuenta de la coocurrencia con un mínimo de diez palabras indexadas, lo cual genera quince términos agrupados en tres clústeres.

Figura 1.2

Cocurrencia a partir de palabras indexadas sobre Cuarta Revolución Industrial



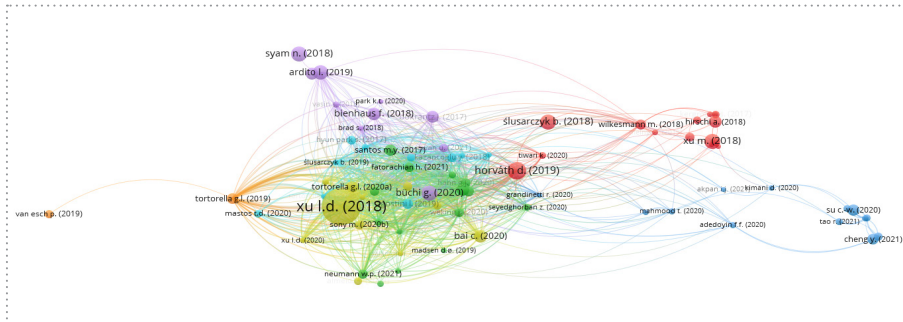
Nota. Elaboración a partir de la herramienta VOSviewer, de Van Eck y Waltman (2021).

Desde el 2019, las palabras indexadas al término “Cuarta Revolución Industrial” son las siguientes: revoluciones industriales, economía industrial, investigación industrial, incorporación de sistemas e internet de las cosas. A partir de 2020, se identifica la vinculación de otros términos. Estos son: transformación digital, inversión, innovación tecnológica, desarrollo tecnológico, innovación, investigación y desarrollo, y desarrollo industrial.

En la Figura 1.3 se presenta el acoplamiento bibliográfico con un mínimo de veinte citas de un documento.

Figura 1.3

Acoplamiento bibliográfico de autores que publican sobre Cuarta Revolución Industrial

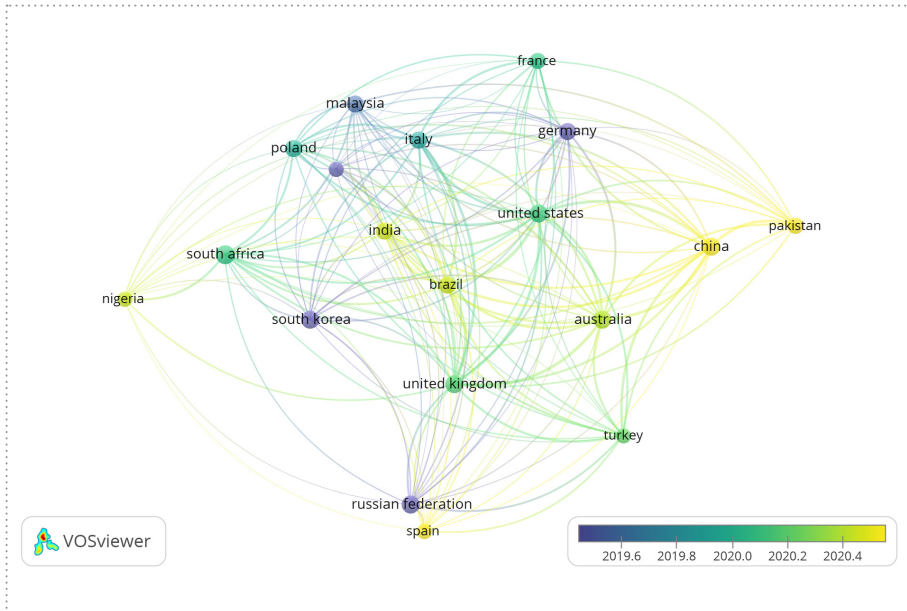


Nota. Elaboración a partir de la herramienta VOSviewer, de Van Eck y Waltman (2021).

Se generan siete clústeres, donde se agrupan 76 artículos. De este conjunto se destacan los documentos de los siguiente autores: Xu et al. (2018), Horváth y Szabó (2019), Ślusarczyk (2018), Wilkesmann y Wilkesmann (2018), Büchi et al. (2020), Bai et al. (2020), Fatorachian y Kazemi (2021) y Tortorella et al. (2019), principalmente. Estos autores establecen citaciones entre ellos mismos y presentan similitud entre las referencias relacionadas.

En cuanto al acoplamiento bibliográfico entre países, se establece un intervalo de entre diez y veinticinco países considerados en las referencias de los artículos, con un mínimo de cinco citaciones de un país, tal como se aprecia en la Figura 1.4.

Figura 1.4
Acoplamiento bibliográfico entre países que publican sobre Cuarta Revolución Industrial



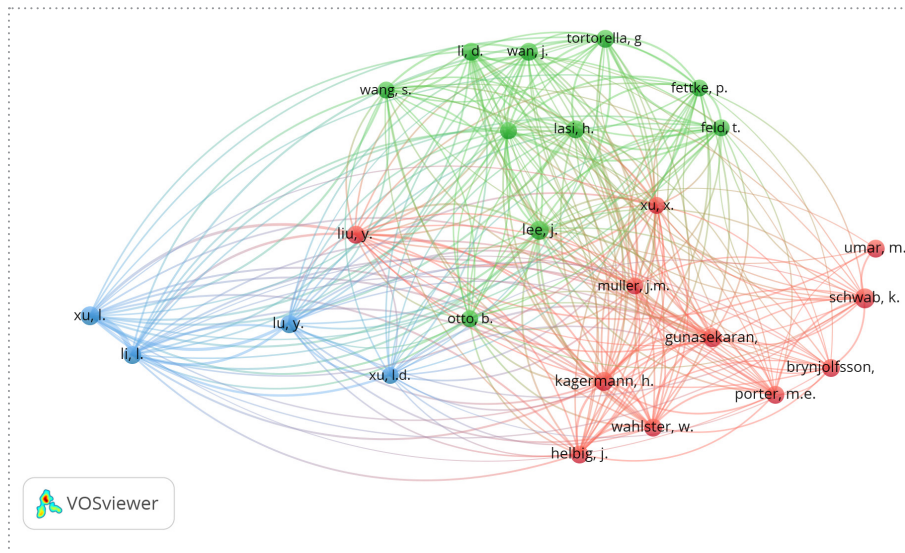
Nota. Elaboración a partir de la herramienta VOSviewer, de Van Eck y Waltman (2021).

Lo anterior genera cinco clústeres que agrupan a diecinueve países, entre los cuales se destacan: Estados Unidos, Alemania, Sudáfrica, Reino Unido, Rusia, Italia, China, Australia, Corea del Sur, Francia e India.

En un segundo momento, se buscó que la cocitación estuviera asociada a otros autores, con un mínimo de cincuenta citas a un autor. El resultado se visualiza en la Figura 1.5.

Figura 1.5

Cocitación de autores que abordan el tema de la Cuarta Revolución Industrial



Nota. Elaboración a partir de la herramienta VOSviewer, de Van Eck y Waltman (2021).

El resultado genera un mapa de veinticinco autores, clasificados en tres clústeres. Entre los más referenciados, encontramos los siguientes apellidos: Schwab, Brynjolfsson, Porter, Liu, Xu, Muller, Gunasekaran, Wahlser, Kagermann et al., Helbig, Lee, Wang, Wan, Fettke, Feld, Tortorella, Hoffman, Li y Xu.

Tendencias investigativas sobre Cuarta Revolución Industrial

A partir de lo anterior, se identifican tendencias investigativas en el tema de la Cuarta Revolución Industrial para las áreas de negocios, gestión y contabilidad. En primer lugar, hay que decir que la Cuarta Revolución Industrial plantea diversos retos que están permeados por los cambios en las formas de interacción de los individuos, puesto que estamos en un ambiente de vida digitalizada que se inmiscuye en los ámbitos familiar, social y productivo. Este hecho plantea desafíos que deben ser abordados desde el quehacer investigativo, particularmente en lo que tiene que ver con los procesos de adaptación de las personas a las herramientas que provee la Industria 4.0.

Con los hallazgos, se evidencia la necesidad de capital humano especializado, principalmente, en procesos de automatización, internet de las cosas, transformación digital, innovación tecnológica, investigación y desarrollo industrial.

La Cuarta Revolución Industrial plantea cambios en el sistema de producción, la dinámica de los mercados, el manejo de las tecnologías, el procesamiento e interpretación de la información y la transformación de los estilos de vida de los individuos. Dichos cambios promueven estudios proyectados hacia el diseño de estrategias que fortalezcan la implementación de la Industria 4.0 en organizaciones de diferentes contextos, puesto que se cuenta con una diversidad en el desarrollo de las regiones, capacidades humanas, disponibilidad de tecnología, adaptación al cambio y evolución en los estilos de dirección que actualmente llevan las empresas.

Desde el quehacer de las universidades, es relevante apoyar los procesos de transferencia de conocimiento inherente a la Industria 4.0, puesto que se podrán iniciar procesos de apropiación que permitan la adaptabilidad de las organizaciones a los retos tecnológicos.

En consecuencia, se identifica la necesidad de que existan programas de formación acordes con las demandas de la Cuarta Revolución Industrial, que requieren mano de obra especializada, uso de la data para el apoyo de la toma de decisiones, incorporación de procesos de innovación, inteligencia de mercados y fortalecimiento de las cadenas de suministro, entre otros.

Es preciso realizar estudios que aporten a la consolidación de políticas que sirvan de base para una transformación direccionada hacia la Industria 4.0, que -además- contemplen las dinámicas y la disposición de recursos.

5. Conclusiones

El trabajo desarrollado presenta los artículos más citados alrededor del tema de la Cuarta Revolución Industrial, según la base de datos Scopus; de esta manera, los criterios de búsqueda seleccionados permiten identificar una tendencia creciente en las publicaciones que ha

sido relevante a partir del año 2017. Con ello puede afirmarse que la producción sobre el tema es reciente.

Las revistas que más publican sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial son: *Technological Forecasting and Social Change*, *ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* e *International Journal of Production Research*. Así mismo, los autores que más generan publicaciones son: Aigbavboa, Götz, Sony, Telukdarie y Umar. Dentro de las afiliaciones institucionales se destacan los siguientes claustros: University of Johannesburg, Universidade Federal de Santa Catarina, Sungkyunkwan University y Qingdao University. Finalmente, los países donde más se publican artículos sobre el tema son: Sudáfrica, Estados Unidos, Corea del Sur, China, Rusia, Reino Unido, Australia, Alemania, Italia, India y Francia.

Entre las palabras clave indexadas se encuentran “revoluciones industriales”, “economía industrial”, “investigación industrial”, “incorporación de sistemas”, “internet de las cosas”, “transformación digital”, “inversión”, “innovación tecnológica”, “desarrollo tecnológico”, “innovación”, “investigación y desarrollo” y “desarrollo industrial”.

En cuanto a los artículos más citados aparecen los siguientes títulos: “Industria 4.0: Estado del arte y tendencias futuras”; “Impulsores y barreras de la Industria 4.0: ¿Tienen igualdad de oportunidades las multinacionales y las pequeñas y medianas empresas?”; “Industria 4.0: Una perspectiva de Corea”; “Rendimiento de la fábrica inteligente e Industria 4.0”; y “La Cuarta Revolución Industrial: oportunidades y desafíos”.

Como parte del análisis de dichos documentos, se identifica que los aportes se orientan hacia el reconocimiento de diversas aplicaciones, que incluyen los sistemas ciberfísicos, el internet de las cosas, computación en la nube, integración industrial, arquitectura empresarial, gestión de procesos comerciales e integración de información industrial. La investigación evidencia la necesidad de aumentar el control y permitir la medición del rendimiento en tiempo real por parte de la gerencia, lo cual se convierte en una fuerza impulsora significativa de la Industria 4.0. Se destaca que para lograr una transformación hacia la Industria 4.0 es necesario ajustar las políticas gubernamentales, y contar con sistemas sociales y económicos que se adapten a los cambios innovadores.

Es primordial hacer un seguimiento en la identificación de oportunidades para las empresas con Industria 4.0, dado que las inversiones son altas. Se espera que la adquisición de nuevas habilidades y los riesgos de obsolescencia fomenten la toma de decisiones más estratégicas.

No obstante, la aplicación limitada de la Industria 4.0 conlleva a recomendar el incentivo hacia los gerentes y actores gubernamentales a implementar una gama de tecnologías habilitadoras en las diversas etapas de la cadena de valor.

Finalmente, se identifican como tendencias investigativas sobre la Cuarta Revolución Industrial en las áreas de negocios, gestión y contabilidad, las siguientes: la necesidad de fortalecer los procesos adaptativos en el uso de herramientas de la Industria 4.0, y la formación en temáticas afines con la automatización, internet de las cosas, transformación digital, innovación tecnológica, transferencia de conocimiento, innovación, manejo de tecnologías, procesamiento e interpretación de información. Es relevante la identificación de estrategias que potencien la implementación de la Industria 4.0 en las organizaciones.

6. Investigaciones futuras

La investigación consideró la base de datos Scopus. Sin embargo, es necesario que otros trabajos se realicen a partir de la base de datos Web of Science; esto implica que los resultados pueden ampliarse, entre otras cosas, para permitir comparaciones, lo cual contribuirá hacia la conformación de un balance en el avance científico sobre el tema de la Cuarta Revolución Industrial. Por otro lado, se recomienda realizar una investigación a detalle sobre las publicaciones que se generan en los diferentes países, lo cual permitirá caracterizar los intereses investigativos por regiones.

7. Referencias

Agostini, L., y Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*, 22(3), 406-421. <https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2018-0030>

- Avansis. (2021). *Industria 4.0 ¿Es realmente revolución o solo una evolución?* [Comunicado de prensa].
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., y Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, (229). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Büchi, G., Cugno, M., y Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, (150), <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- Escudero Nahón, A. (2018). Redefinición del “aprendizaje en red” en la Cuarta Revolución Industrial. *Apertura*, 10(1), 149-163. <https://doi.org/10.32870/Ap.v10n1.1140>
- Fatorachian, H., y Kazemi, H. (2021). Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning and Control*, 32(1), 63-81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>
- Frey, C., y Osborne, M. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, (114), 254-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- González-Hernández, I., Armas-Álvarez, B., Coronel-Lazcano, M., Vergara-Martínez, O., Maldonado-López, N., y Granillo-Macías, R. (2021). El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales. *Ingenio y Conciencia. Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 8(16), 41-52. <https://doi.org/10.29057/escs.v8i16.7118>
- Horváth, D., y Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, (146), 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>

- Kagermann, H., Wahlster, W., y Helbing, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. National Academy of Science and Engineering. <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Liao, Y., Deschamps, F., Rocha, E., y Pierin, L. (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>
- Lis-Gutiérrez, J., y Bahos-Olivera, C. (2016). Patrones de la producción académica colombiana en Economía y Administración (1974 - mayo 2014): un análisis bibliométrico basado en Scopus. *Administración & Desarrollo*, 46(1), 49-71. <https://doi.org/10.22431/25005227.59>
- Montoya-Restrepo, I. (2021). Coevolución entre revoluciones industriales y ciencias económicas y administrativas. *Revista CEA*, 7(15). <https://doi.org/10.22430/24223182.2152>
- Noah, Y. (2021). *De animales a dioses. Breve historia de la humanidad*. Penguin Random House.
- Perasso, V. (2016). Qué es la Cuarta Revolución Industrial (y por qué debería preocuparnos). *BBC Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>
- Ramírez, J. H., y Torres, G. (2019). *La Cuarta Revolución Industrial, las organizaciones y la sociedad contemporánea* [Trabajo de grado de Maestría, Universidad del Rosario].
- Round University Ranking. (2022). *Qingdao University*. RUR.
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la Industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177-191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>

- Sanders, A., Elangeswaran, C., y Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811-833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Santamaría Ayala, J. (2021). Liderazgo de equipos virtuales: estudio bibliométrico. *Tendencias*, 22(2), 349-370. <https://doi.org/10.22267/rtend.212202.180>
- Schwab, K. (2019). *La Cuarta Revolución Industrial*. Penguin Random House.
- Scimago Journal & Country Rank. (2022). *Journal Rankings [SJR]*. <https://www.scimagojr.com/>
- Scopus. (2022). *Base de datos Scopus: What is Scopus Preview?* Scopus. https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15534/supporthub/scopus/#tips
- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 – Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, 17(1), 232-248. <https://pjms.zim.pcz.pl/resources/html/article/details?id=174938>
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, (132), 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.005>
- Sungkyunkwan University. (2022). *Acerca de SKU*. <https://www.skku.edu/eng/index.do>
- Tortorella, G., Giglio, R., y Van Dun, D. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations and Production Management*, 39(6, 7, 8), 860-886. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
- Universidade Federal de Santa Catarina. (2022). *Estructura de la Universidad Federal de Santa Catarina*. UFSC.

- University of Johannesburg. (2022). *University of Johannesburg - UJ University in South Africa*. <https://www.uj.ac.za/>
- Van Eck, N., y Waltman, L. (2010). Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Eck, N., y Waltman, L. (2021). VOSviewer (Versión 1.6.18) [Software de computación]. VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>
- Wilkesmann, M., y Wilkesmann, U. (2018). Industry 4.0 – organizing routines or innovations? *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 48(2), 238-254. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-04-2017-0019>
- Xu, M., David, J. M., y Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90-95. <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>
- Xu, L., Xu, E., 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>

Carisma transformacional del líder en la Cuarta Revolución Industrial. Estudio del caso de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Gladys Yaneth Mariño Becerra⁵

Néstor Josué Franco González⁶

Nubia Yaneth Gómez Velasco⁷

Resumen

En el contexto de la educación superior, y dada la velocidad de los cambios producidos por la Cuarta Revolución Industrial, esta investigación tiene por objeto explicar el carisma transformacional de los líderes de

5 Administradora de Empresas y Especialista en Finanzas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Magíster en Administración de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y del Instituto Tecnológico de Monterrey. Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad de Cundinamarca. Directora del Grupo de Investigación en Gerencia del Valor y las Finanzas (GEVAFI). Línea de investigación: Creación de valor en las organizaciones. Correo electrónico: gladys.marino01@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-7100>

6 Administrador de Empresas, Especialista en Alta Gerencia en Mercadotecnia y Magíster en Administración de Organizaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente e investigador de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad de Cundinamarca. Integrante del Grupo de Investigación en Gerencia del Valor y las Finanzas (GEVAFI). Correo electrónico: nestor.franco@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3026-7510>

7 Licenciada en Matemáticas y Estadística, Especialista y Magíster en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia. Doctora en Ciencias de la Educación. Docente de programas de doctorado, maestrías y pregrado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante de los Grupos de Investigación Gamma e Hisula. Correo electrónico: nubia.gomez@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7745-1721>

la alta gerencia y de la media gerencia académica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Las escalas aplicadas comprenden las versiones de líder y seguidor. El método utilizado es de tipo deductivo y permite, a partir de axiomas teóricos, analizar la realidad específica del liderazgo de la sección académica de la UPTC. Los resultados muestran correlaciones entre variables con un análisis desde dos perspectivas: la teoría transaccional y transformacional, y la perspectiva sobre los tipos ideales de dominación. Para los líderes y seguidores de la educación superior, las implicaciones prácticas y teóricas de los hallazgos son discutidas frente al proceso de la Cuarta Revolución Industrial, propio de la modernidad. Por otro lado, se recomiendan futuras investigaciones sobre la relación entre líder y seguidor.

1. Introducción

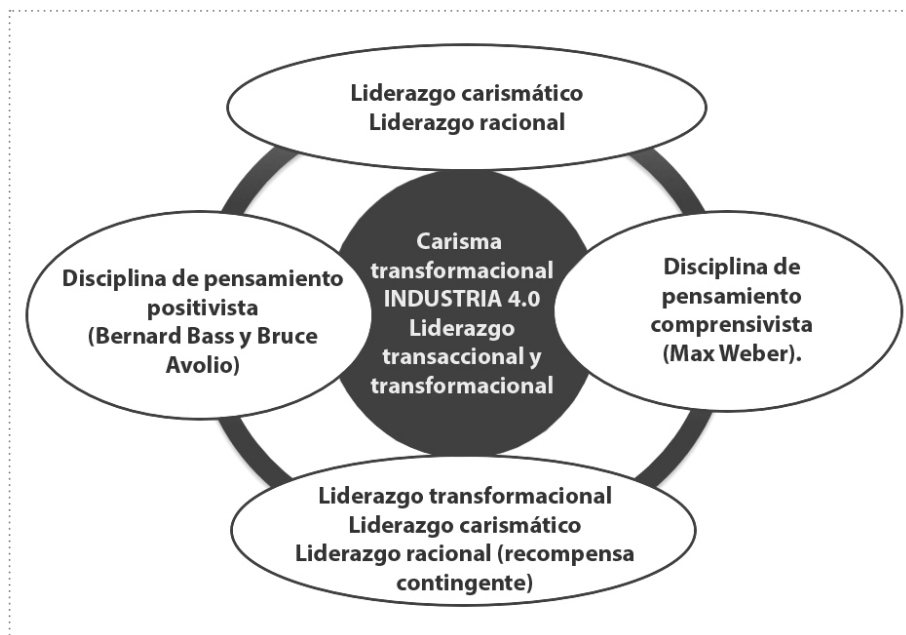
La dimensión de carácter práctico sobre el concepto de liderazgo tiene un fuerte componente pragmático sobre la dinámica organizacional y social (Maidique y Hiller, 2018). Tanto es así que desde aquel carácter práctico se puede determinar que un líder es una persona que está en la capacidad de realizar, por lo menos, cinco actividades centrales: 1) establecer una visión persuasiva de lo que puede ser idealmente el futuro (Hiller, 2005); 2) rodearse de personas iguales o mejores que él mismo; 3) reconocer cuando una persona o seguidor no está rindiendo como debe rendir, y cambiarlo de posición; 4) motivar a sus seguidores hacia el logro de una misión (Walumbwa et al., 2014); 5) conseguir que se cumpla esta premisa: los seguidores no ponen su interés en lo que el líder dice, los seguidores observan al líder y ponen toda su atención en lo que el líder hace (Maidique y Hiller, 2018).

Otra dimensión de tipo teórico sobre el concepto de liderazgo se extrae de los aportes de Weber (1944) sobre los tipos ideales de dominación: el tradicional, el carismático y el racional. La visión global de las formas de organización humana evidencia un peso mayor en el impacto que se produce en la vida del individuo. Los principales referentes para esta investigación, Bass y Avolio (1994), desarrollaron la escala MLQ 5X corta de 82 ítems en las versiones de líder y seguidor. Los estudios aplicados tienen en cuenta un amplio rango de organizaciones y de culturas (Bass, 1997).

Como deja ver la Figura 2.1, la literatura sobre liderazgo facilita la construcción de sustanciales análisis entre el estilo de liderazgo racional, de la escuela comprensivista (Weber, 1944), y el estilo de liderazgo transformacional, de la escuela positivista (Bass y Avolio, 1994). Para el análisis, son necesarios los desarrollos teóricos de Bass y Avolio (1994) sobre el paradigma de liderazgo transaccional y transformacional, porque son los aportes que fundaron dicho paradigma (Burns, 1978); igualmente, son necesarias las contribuciones de Weber (1944) sobre los tipos ideales de dominación. El análisis de esta investigación también integra el pensamiento clásico evolucionario propuesto por Hayek (2017) y algunos aportes de la escuela positivista racional o constructivista. Dentro de la misma temática, se pretende dar respuesta al siguiente interrogante: ¿Es posible explicar el estilo de liderazgo implementado en la alta gerencia y en la media gerencia académica de la UPTC, así como sus implicaciones en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial?

Figura 2.1

Estructura propuesta para el desarrollo de la investigación



2. Referentes teóricos

La teoría sobre liderazgo transaccional y transformacional se fundamenta en el individualismo metodológico. Este individualismo desemboca en el subjetivismo de Menger et al. (2006), lo cual no quiere decir que los individuos en la sociedad se encuentren totalmente atomizados y aislados entre sí. Lo que esto significa es que la acción del individuo es el centro del análisis, según Kirzner (1992) en diferentes contextos, y en particular para esta investigación. El contraste entre el individualismo metodológico y la universalidad del concepto de *liderazgo transaccional y transformacional* se puede observar en que dicho concepto es universalmente aplicable (Bass, 1997).

2.1. Evolución del campo teórico

Las primeras teorías de rasgos y comportamiento enfatizan en el interrogante de si un líder nace o se hace, y en cómo las cualidades distintivas e innatas de los líderes definen la naturaleza de su labor (Fayol, 1986; Stogdill, 1948; Blake y Mouton, 1982; McGregor, 1960; Lewin et al., 1939; Arredondo y Maldonado, 2010). Posteriormente, surgen las teorías de contingencia o situacionales, en donde el líder debe aplicar un modelo de liderazgo determinado en una situación específica (Blanchard y Hersey, 1996; Fiedler, 1971; Kreitner y Kinicki, 1997; McGregor, 1960). En la actualidad, surgen las teorías integrales o emergentes, entre las cuales encontramos el liderazgo carismático y otras conceptualizaciones neocarismáticas muy similares entre sí, como los nuevos liderazgos, el liderazgo de desafío, los liderazgos visionarios (Conger y Kanungo, 1987; Sashkin, 1988) y la teoría de liderazgo transaccional y transformacional. Esta última aporta análisis únicos derivados de la relación líder vs. seguidor (Burns, 1978; Bass, 1997; Hermosilla et al., 2016).

2.2. Liderazgo transaccional y transformacional

El campo de la educación muestra una fuerte dinámica en el florecimiento de redes de comunidades educativas. Esto ha dado lugar al surgimiento de modelos de liderazgo para enfrentar los cambios exigidos por esas nuevas redes (Kezar y Eckel, 2002). El liderazgo transaccional y transformacional, expresado por Bass (1990), es de gran utilidad en

la investigación del liderazgo en la educación (Leithwood et al., 1999). En el campo del liderazgo transformacional han estado presentes razones favorables y críticas en el mundo de la educación (Ruhnaar et al., 2009). La escala MLQ, de forma 5X corta, presenta un diseño que busca que sus resultados sean aprobados por las normas de sociedades, culturas, grupos y organizaciones (Bass, 1997).

Las variables independientes del modelo están conformadas por el liderazgo transformacional, el liderazgo transaccional y el liderazgo correctivo evitador. Las variables dependientes pertenecen al desempeño administrativo e integran a la eficacia, el esfuerzo extra y la satisfacción (Bass y Avolino, 1994). Cada afirmación del cuestionario es medida con la escala compuesta aditiva de Likert (1986). Una de las ventajas de dicha escala es que puede evaluar un fenómeno en toda su amplitud (Churchill y Peter, 1984). Adicionalmente, es el instrumento más utilizado en investigación sobre dirección de empresas.

Las variables independientes y las variables dependientes del modelo de liderazgo transaccional y transformacional se observan en la siguiente tabla.

Tabla 2.1

Modelo transaccional y transformacional (Bass y Avolio, 1994)

Liderazgo transaccional y transformacional		
Variables independientes		
V. de primer orden	V. de segundo orden	V. directas
<i>Liderazgo transformacional</i>	Carisma inspiracional	*Influencia idealizada atribuida
		Influencia idealizada conductual
	Motivación inspiracional	
	Estimulación intelectual	Estimulación intelectual
<i>Liderazgo transaccional</i>	Consideración individualizada	Consideración individualizada
	Recompensa contingente	Recompensa contingente

<i>Liderazgo correctivo evitador</i>	Dirección por excepción activa	Dirección por excepción activa
	Liderazgo pasivo evitador	Dirección por excepción pasiva
		Laissez-Faire
Variables dependientes		
<i>Desempeño administrativo</i>	Esfuerzo extra	
	Satisfacción	
	Eficacia del líder	
*Liderazgo carismático		

La escala original MLQ inició con 141 afirmaciones. Posteriormente, el carisma –como pieza relevante– articulado con la estimulación intelectual, la motivación inspiracional y la consideración individualizada originaron el liderazgo transformacional. Por su parte, la recompensa contingente dio lugar al liderazgo transaccional. Para lograr resultados de eficiencia, el modelo permite la aplicación del liderazgo transaccional sobre los seguidores (Bass, 1997). Pero el sentido pragmático más importante es que el líder pueda aplicar el estilo de liderazgo transformacional (Bass, 1997) para que los propios intereses de los seguidores no se impongan al equipo, a la sociedad o a la organización. Para sustentar la universalidad del paradigma transaccional y transformacional es imprescindible el aporte de una visión liberal de la realidad, que evite las posturas cerradas.

Durante el desarrollo teórico del paradigma transaccional y transformacional, Bass y Avolio (1994) presentaron tres resultados concluyentes, soportados con un consistente trabajo empírico universal previo. El primero expone la correlación decreciente entre las variables directas pertenecientes al liderazgo transformacional, las variables directas que pertenecen al liderazgo transaccional con las variables de desempeño administrativo (Bass, 1997). El segundo hace referencia al proceso de obtención de resultados de correlaciones; en este, el liderazgo transformacional es el que adiciona resultados al liderazgo transaccional (Bass, 1997). Y el tercero muestra que, en cualquier parte del planeta, cuando las personas piensan en el tema del liderazgo su visión ideal se asemeja al liderazgo transformacional de Bass (1997).

En muchos de sus artículos, Bass (1990) sostiene que un líder es transformacional cuando cumple cuatro cualidades: 1) conoce las necesidades particulares de los seguidores (consideración individualizada); 2) circunda el límite de la normatividad organizacional con pensamiento creativo (estimulación intelectual); 3) mantiene constantemente una visión estratégica hacia el futuro (motivación inspiracional); y 4) encuentra niveles superiores de ética, moral y comportamiento (influencia idealizada). Estos cuatro temas se encuentran en otras investigaciones que revelan hallazgos relacionados, un ejemplo podría ser el trabajo de Howell y Hall-Merenda (1999). También surgen resultados sobre el desarrollo de la creatividad organizacional, de Shin et al. (2012), y gran compromiso ciudadano del individuo en la sociedad (Wang et al., 2005).

2.3. El liderazgo según Max Weber

El liderazgo carismático presentado por House y Howell (1992) es el principal componente de la teoría transaccional y transformacional de Bass (1997), de Yammarino et al. (1993) y de las nuevas teorías emergentes neocarismáticas de Bass (1995). Pero también coincide con uno de los tipos ideales de dominación que propone Weber (1944). En sus desarrollos teóricos, Max Weber realiza una construcción metodológica llamada “tipos ideales”, demarcada por objetivos investigativos y didácticos. Se trata de la dominación que se visualiza en diferentes campos de la producción científica, donde el líder del grupo de investigación juega un rol importante (Gómez y Rodríguez, 2014). En tal contexto, el líder es el principal protagonista, debido a que todo aparato de dominación –aún en estado de máxima racionalización– requiere de un líder. Algunos autores afirman que en una organización lo más racionalmente elaborada también son necesarias mayores dosis de elementos carismáticos para tomar la posición de líder (Hiller, 2005).

Para Weber (1944), el carisma es neutro; un líder carismático puede ser alguien idealizado con una gracia especial y quizá hasta sobrenatural, pero puede ser también un líder que cause grandes desastres. Entre los tipos de dominación, el carismático presentado por Conger (1993) es el más inestable, ya que este tipo de líder pierde control cuando el carisma lo abandona. La teoría desarrollada por el esfuerzo conceptual weberiano sostiene que la ética de un líder debe ser

una ética de responsabilidad y no una ética de convencimiento. Weber (1944) advierte que quien tenga una ética de convencimiento sesgada hacia sus propias ideas no debería lanzarse de líder conductor social u organizacional o de líder político, porque puede causar desastres para la sociedad y para las organizaciones (Weber, 1949).

A través de sus aproximaciones teóricas, Max Weber refleja una ferviente postura antipositivista en el campo de las ciencias sociales. Por tal razón, desde su punto de vista la sociología es una ciencia comprensivista, y su objeto está en la acción social. Este asunto va en contravía con la orientación estructuralista reduccionista de las escuelas positivistas, que para el tratamiento de la ciencia dan preeminencia al uso de la razón (Hayek, 2017).

2.4. La Cuarta Revolución Industrial

Cualquier revolución industrial está impregnada por profundos cambios económicos y sociales. Los desarrollos de la sociedad agrícola y artesana que anteceden a la Primera Revolución Industrial no conocieron la maquinaria mecánica, la tracción, la energía de vapor ni la hidráulica. Estos avances se instauran plenamente en el desarrollo de la Primera Revolución Industrial. La siguiente presenta avances como la electricidad, la química y los automóviles. Igualmente, se desarrollan fenómenos sociales, económicos y organizacionales, entre los cuales se destacan el sistema de libre mercado, el concepto de *entrepreneurs-hip*, la figura del empresario, entre otros. Luego se da lugar a la Tercera Revolución Industrial, en la cual se integran la electrónica, los medios de comunicación masivos y los inicios de la nanotecnología. Del mismo modo, se profundizan fenómenos como la globalización, la internacionalización, los procesos de la maquila, y la productividad. Según Taylor y Thompson (2018), esta etapa es denominada como la era de la información y del conocimiento.

En la actualidad asistimos a la Cuarta Revolución Industrial, con desarrollos en sistemas inteligentes integrados e interconectados, en la nanotecnología, en la transformación digital y en la impresión en 3D. Aquí también ocurren obligatorios cambios tecnológicos, sociales, económicos y organizacionales. La velocidad de tales cambios se acelera como nunca antes. A nivel organizacional, se deben adoptar cambios en la forma de estudiar a las empresas y a los negocios. Algunos

autores denominan a la Cuarta Revolución Industrial como la sociedad de los servicios. Otros autores más pragmáticos afirman que estamos presenciando una revolución en la cual la manufactura desaparecerá, así como el ensamble, reconocido como la cuarta etapa del proceso de innovación (cuya secuencia está compuesta por la idea, el prototipo, la ingeniería y el ensamble). Esto quiere decir que el uso intensivo de mano de obra será sustituido por la industria 3D (Ruelas-Gossi y Sull, 2006; Taylor y Thompson, 2018).

En el contexto organizacional, los aportes de F. W. Taylor marcan los inicios de la evolución laboral. Las organizaciones vienen de un escenario en el que al obrero no se le permite pensar, pero es capaz de ejecutar tareas rutinarias, rígidas, monótonas, exactas y –en algunos casos– peligrosas. Entre tanto, el tema del trabajo intelectual es desarrollado por el ingeniero Echeverría en 2008. Igualmente, la educación ha estado orientada hacia la formación de profesionales ágiles, con habilidades motrices y preparados para ejecutar órdenes sin protestar, características típicas de escuelas de pensamiento positivista o constructivista (Durkheim, 2001). Este contexto de aprendizaje es similar al empresarial: el alumno es un ente pasivo, receptor de materias envasadas como en un encurtido y sin interacción entre ellas, memorizador y repetidor de frases. Para Spohrer et al. (2012), los desarrollos pedagógicos son similares en las etapas preuniversitaria y universitaria.

La Cuarta Revolución Industrial requerirá, en la apreciación de Drucker et al. (2015), de empresas competentes para resolver las complicaciones de la productividad y de la competitividad del trabajo que no se realiza manualmente (Baines et al., 2009). Los profesionales de la Cuarta Revolución Industrial enfrentarán proyectos globalizados en contextos culturales, económicos y sociales opuestos entre sí. De acuerdo con el Instituto Vasco de Competitividad, la productividad y la competitividad no vienen ligadas a la motricidad o a la destreza física (Roberto et al., 2021). Por el contrario, sí es absolutamente necesario que las capacidades intelectual, emocional, técnica y personal se desarrollen y utilicen en un primer plano a nivel personal, a nivel profesional, a nivel organizacional y a nivel país (Kamp y Gibaja, 2021). Por lo tanto, tales requerimientos dan lugar al profesional *T-shaped*. Esta versión de profesionales *T-shaped* se dispersa en una variedad de especialistas dependiendo del sector de la economía en el que participan.

3. Metodología

La investigación es de tipo metodológico descriptivo y correlacional cuantitativo. Se presenta un diseño no experimental con la medición en su contexto natural y en un solo momento. La transversalidad de la investigación analiza la correlación entre variables del fenómeno en un momento dado.

3.1. Unidades de observación

Se aplicaron las encuestas a los líderes de la alta gerencia (decanos) y a sus seguidores (directores de escuela⁸). Del mismo modo, se realizaron las encuestas a los líderes de la media gerencia (directores de escuela) y a sus seguidores (docentes). La muestra para la alta gerencia estuvo integrada por cinco decanaturas y siete direcciones de escuela. Fueron validadas las escalas MLQ 5X para un total de doce líderes y cuarenta y siete seguidores. La media gerencia estuvo conformada por siete direcciones de escuela y el 20 % de la planta docente total de cada escuela. La muestra fue elegida a través de un muestreo no aleatorio a criterio de experto y por cuotas, debido a que se planteó el interés adicional de vincular en la muestra escuelas sin acreditación de alta calidad, para buscar relaciones de orden descriptivo entre el liderazgo y el estado de la acreditación.

3.2. Instrumentos

Para la recolección de la evidencia empírica se utilizaron dos escalas o cuestionarios, el primero diseñado para el líder; y el segundo, para el seguidor. Las escalas están diseñadas para ser aplicadas en países desarrollados (Bass y Avolio, 1994), pero para esta investigación se utilizaron las escalas adaptadas para el contexto chileno y, por lo tanto, útiles e implementables a todo el contexto de América Latina (Vega y Zavala, 2004). Cada cuestionario consta de ochenta y dos ítems en sus dos formas adaptadas (cuarenta y cinco ítems del original, treinta y dos creadas por las autoras de la adaptación y cinco que son producto de las indicaciones de los jueces expertos).

8 De conformidad con el organigrama de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, cada facultad está conformada por escuelas que representan a cada uno de los programas adscritos.

3.3. Procedimiento

Los resultados inferenciales permiten discusiones sobre el estado particular del liderazgo en la UPTC. Se aplicaron las escalas MLQ 5X de forma presencial a doce líderes y cuarenta y siete seguidores. Los decanos y directores de escuela participaron libremente, sin ningún tipo de rechazo hacia el contenido de los cuestionarios y el objetivo de la investigación. Caso contrario ocurrió entre los docentes, debido a que algunos mostraron rechazo por no estar de acuerdo con el contenido de las afirmaciones o por simplemente no querer ser parte de la investigación. Ante esta circunstancia, se acudió a solicitar la colaboración libre y voluntaria a docentes adicionales que desearan participar en el estudio hasta completar el 20 % programado en la muestra para cada escuela.

4. Resultados y discusiones

La universalidad del liderazgo no obliga a una estricta y constante similitud en los resultados de los hallazgos alrededor del mundo, y tampoco a la persistencia en la similitud de varianzas y correlaciones en la totalidad de las investigaciones. Pero a lo largo de todos los trabajos, se evidencian constructos reveladores que explican cada situación particular. El liderazgo transformacional se fortalece en su principal componente, se trata del liderazgo carismático, cuyo principal objetivo es expandir la motivación de los seguidores, apoyando su madurez y desarrollando en los mismos el sentido del valor propio (Bass y Avolio, 1933).

En la Tabla 2.2, los datos de orden descriptivo muestran la diferencia entre medias, de acuerdo con las variables de primer orden. Se evidencia un predominio del liderazgo transformacional sobre el liderazgo transaccional, y la diferencia de percepción entre líder y seguidor.

Tabla 2.2

Diferencia entre las medias de las variables de primer orden

Variable de primer orden	Número de afirmaciones	Líder (Media)	Seguidor (Media)	Diferencia
Liderazgo transaccional	14	3.32	2.85	0.47
Liderazgo transformacional	31	3.49	3.02	0.46
Liderazgo correctivo evitador	20	1.67	1.39	0.27
Desempeño administrativo	17	3.23	2.93	0.29
Total de afirmaciones	82	2.93	2.55	0.38

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020). Incidencia del liderazgo sobre el desempeño organizacional.

4.1. Correlaciones entre liderazgo y desempeño administrativo

Los hallazgos de esta investigación pueden ser utilizados en la profesionalización, específicamente, en la toma de decisiones (Simon, 1983). Además, son un ingrediente imprescindible de innovación social para el avance institucional. Los resultados del p valor y la correlación de Pearson muestran que en la UPTC para la alta gerencia académica no existe correlación entre el liderazgo y el desempeño organizacional (ver Tabla 2.3). Lo que quiere decir que la alta gerencia no está convencida de que al implementar dosis de liderazgo en la gestión se vea afectado directamente el desempeño administrativo (Sánchez y Franco, 2020). En la Tabla 2.3 se muestra la correlación de Pearson, el p valor, y el número de variables (Sánchez y Franco, 2020).

Tabla 2.3

Correlación para la alta gerencia académica

Estadísticos de correlación		
Correlaciones entre variables	Desempeño administrativo (decano vs. director de escuela)	Liderazgo (decano vs. director de escuela)

Desempeño administrativo (decano y director de escuela)	Correlación de Pearson	1	0,570
	Sig. (Bilateral)		0,053
Liderazgo (decano y director de escuela)	Correlación de Pearson	0,570	1
	Sig. (bilateral)	0,053	
Número de observaciones: 12			

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020).

Contrario a lo anterior, los resultados del p valor y la correlación de Pearson en la media gerencia académica, de la UPTC, muestran una fuerte correlación entre el liderazgo y el desempeño administrativo (ver Tabla 2.4). Esto indica que los directores de escuela y los docentes sí creen que al implementar ciertas cantidades de liderazgo en la gestión se ven afectados, de manera directa, los resultados de la administración (Sánchez y Franco, 2020).

En la siguiente tabla son presentados algunos datos, como la correlación de Pearson, el p valor, y el número de observaciones, para la media gerencia, integrada por directores de escuela y docentes.

Tabla 2.4

Correlación para la media gerencia académica

Estadísticos de correlación			
Correlaciones entre variables		Desempeño administrativo (director de escuela vs. docente)	Liderazgo
Desempeño administrativo (director de escuela y docente)	Correlación de Pearson	1	0,950 [*]
	Sig. (bilateral)		0,000

Liderazgo (director de escuela y docente)	Correlación de Pearson	0,950*	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
Número de observaciones: 47. Número total de variables: 12.			

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020). *La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

En la siguiente tabla se pueden analizar los datos para la media gerencia, los cuales muestran la calificación promedio que se otorgan a sí mismos los directores de escuela en las variables directas. Ese dato cuantitativo se puede contrastar con las puntuaciones que otorgan los docentes a los directores de escuela.

Tabla 2.5

Variables directas para la media gerencia

Estadísticos de grupo				
	Clasificación	Media	Desviación típica	Error típico de la media
Promedio de los directores de escuela y sus seguidores	Director de escuela	2,9625	0,96827	0,27952
	Docentes	2,7321	0,76663	0,22131
Promedio considerando los resultados de todas las variables.				

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020).

En la Tabla 2.5, la diferencia entre medias es de 0,2304 y no es estadísticamente significativa al 5 %, con un p valor de 0,525. Igualmente, la desviación típica permite interpretar que entre los docentes existe un mayor acuerdo acerca de lo que piensan sobre el comportamiento del líder. Esto quiere decir que en la media gerencia la relación líder vs. seguidor puede ser menos saludable que la relación líder vs. seguidor encontrada en la alta gerencia. Dicha interpretación puede ser reforzada por la diferencia entre medias, que es más grande para la media gerencia.

En la siguiente tabla se pueden analizar los datos para la alta gerencia, los cuales muestran la calificación promedio que se otorgan a sí mismos los decanos en las variables directas. Estas se pueden contrastar con las puntuaciones otorgadas por los directores de escuela a los decanos.

Tabla 2.6
Variables directas para la alta gerencia

Estadísticos de grupo				
	Clasificación	Media	Desviación típica	Error típico de la media
Promedio de los decanos y sus seguidores	Decanos	3,0675	0,66350	0,19154
	Seguidores	2,9983	1,17811	0,34009
* Promedio considerando los resultados de todas las variables.				

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020).

En la Tabla 2.6 la diferencia entre las medias es de 0,0692. Esta diferencia no es estadísticamente significativa al 5 %, con un p-valor de 0,861. De forma complementaria, se puede indicar, a través del comparativo de las medias muestrales, que entre los decanos existe un mejor acuerdo sobre su propia gestión, contrastado con lo que piensan sus seguidores. Por ende, se puede asumir que en la alta gerencia la relación líder vs. seguidor puede ser más saludable que en la media gerencia.

4.2. Diferencias en las puntuaciones medias de las variables

En la siguiente tabla se presentan los resultados sobre el análisis de ANOVA de un factor. Este determina si existe al menos una variable que es diferente significativamente de las demás. Para dicho análisis se realiza la respectiva prueba de hipótesis de la siguiente forma: *H0*: En promedio las puntuaciones dadas en cada una de las doce variables son iguales. *H1*: Alguna variable genera en promedio puntuación diferente con alguna otra variable o algún par de variables en promedio son diferentes en las puntuaciones dadas.

Tabla 2.7

Análisis ANOVA de un factor

Puntaje total					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig. (Bilateral)
Entre variables	6278,910	11	570,810	44,047	0,000
Error	1710,583	132	12,959		
Total	7989,493	143			

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020).

Por medio de la tabla ANOVA se concluye que sí existen diferencias estadísticamente significativas, entre los puntajes dados por las variables, dado que el p valor es igual a 0,000 y, por lo tanto, menor que 0,05 (nivel de confianza del 95 %).

4.3. Análisis correlacional

Con la prueba de Tukey se pretende mostrar cuáles pares de variables generan diferencias entre sí y cuáles pares de variables son iguales en cuanto a la puntuación dada en las variables directas. En la siguiente tabla se muestran grupos homogéneos de los resultados de la comparación múltiple pareada de las doce variables directas, medidas a través de la prueba de Tukey.

Tabla 2.8

Prueba de Tukey. Variables que generan homogeneidad

Puntaje total						
HSD de Tukey						
V. Directa código	Subconjunto para alfa: 0.05					
	1	2	3	4	5	6
Dirección por excepción pasiva	6,83					

Puntaje total						
HSD de Tukey						
V. Directa código	Subconjunto para alfa: 0.05					
	1	2	3	4	5	6
Laissez-Fire	11,17	11,17				
Dirección por excepción activa		15,42	15,42			
Satisfacción			16,83	16,83		
Esfuerzo extra			18,75	18,75		
Eficacia			19,42	19,42		
Recompensa contingente				21,25	21,25	
Influencia idealizada atribuida					24,50	24,50
Consideración individualizada					25,25	25,25
Estimulación intelectual						26,33
Influencia idealizada conductual						28,67
Motivación inspiracional						28,67
Sig.	0,136	0,156	0,228	0,119	0,228	0,178
Medias para subconjuntos homogéneos. Liderazgo carismático.						
Tamaño muestral de la media armónica: 12,000. Desempeño administrativo.						

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020).

En la Tabla 2.8, de acuerdo con la percepción del líder sobre sí mismo, el subconjunto 6 permite interpretar que el líder asocia de forma homogénea las variables IIA, CI, EL, EI, IIC y MI (el nombre completo de estas variables se observa en la primera columna de celdas de la Tabla 2.8). Lo anterior confirma la preferencia del líder por la implementación de un liderazgo transformacional en la organización. A través del subconjunto 5 se puede observar cómo el líder asocia homogéneamente las variables RC, IIA y CI; esto significa que el líder se inclina decididamente hacia la aplicación de medidas de eficiencia. Es decir,

aunque el líder prefiere implementar un liderazgo transformacional (por medio del carisma inspiracional: IIA, IIC, MI), en su gestión no renuncia a conseguir resultados de eficiencia o la implementación de un liderazgo racional. También es interesante observar, en el subconjunto 3, que el líder no realiza diferencia alguna entre las variables que componen el desempeño administrativo.

La siguiente tabla muestra las variables que están generando diferencia significativa respecto de los temas centrales para el presente capítulo de libro: el liderazgo carismático, visto desde la perspectiva de Bass y Avolio (1994), y el liderazgo racional de Weber (1944), también conocido como recompensa contingente, según Bass y Avolio (1994).

Tabla 2.9

Variables que generan diferencias significativas entre sí

HSD de Tukey						
Comparaciones múltiples para RC recompensa contingente (Liderazgo racional) y para el liderazgo carismático (IIA)						
(I) Variable directa código	(J) Variable directa código	Diferencia de Medias (I-J)	Error típico	Sig. P valor	Intervalo de confianza al 95 %	
					Límite inferior	Límite superior
(RC) Recompensa contingente	EI	-5,083*	1,470	,034*	-9,97	-,19
	DPE P	14,417*	1,470	,000*	9,53	19,31
	DPE A	5,833*	1,470	,006*	,94	10,72
	LF	10,083*	1,470	,000*	5,19	14,97
	IIC	-7,417*	1,470	,000*	-12,31	-2,53
	MI	-7,417*	1,470	,000*	-12,31	-2,53
	IIA	-3,250	1,470	,545	-8,14	1,64
	CI	-4,000	1,470	,228	-8,89	,89
	EE	2,500	1,470	,865	-2,39	7,39
	S	4,417	1,470	,119	-,47	9,31
	E	1,833	1,470	,984	-3,06	6,72

(IIA) Influencia idealizada atribuida	RC	3,250	1,470	,545	-1,64	8,14
	EI	-1,833	1,470	,984	-6,72	3,06
	DPE_P	17,667*	1,470	,000*	12,78	22,56
	DPE_A	9,083*	1,470	,000*	4,19	13,97
	LF	13,333*	1,470	,000*	8,44	18,22
	IIC	-4,167	1,470	,178	-9,06	,72
	MI	-4,167	1,470	,178	-9,06	,72
	CI	-,750	1,470	1,000	-5,64	4,14
	EE	5,750*	1,470	,008*	,86	10,64
	S	7,667*	1,470	,000*	2,78	12,56
	E	5,083*	1,470	,034	,19	9,97

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020). * Entre medias hay diferencia significativa al nivel 0.05.

En la Tabla 2.9 se observa que el líder establece diferencias significativas o no asocia la variable RC con las variables EI, DPEP, DPEA, LF, IIC, MI, y no establece diferencias significativas con IIA o liderazgo carismático. Este es un indicador muy importante que muestra la preferencia y el interés del líder para que su gestión de liderazgo no dependa exclusivamente del liderazgo RC o racional. Entre tanto, el líder diferencia la variable IIA de las variables DPEP, DPEA, LF, EE, S, E, pero no realiza diferencias significativas con la variable RC. Es decir, se puede interpretar que el líder no busca que su gestión de liderazgo dependa exclusivamente del liderazgo carismático IIA. También es interesante observar que dentro de las variables con las cuales establece diferencia significativa están las de desempeño administrativo (EE, S y E), y esta es otra señal fuerte para interpretar que el líder no pretende que el desempeño administrativo de la organización dependa exclusivamente del liderazgo carismático IIA (ver Tabla 2.9).

Los puntajes para las variables de desempeño administrativo sugieren interpretar que el líder realiza un balance entre el estilo de liderazgo carismático, el estilo de liderazgo transaccional y el liderazgo racional. Las investigaciones de Mintsberg (2004) argumentan que un gerente trabaja esforzadamente, debido a que su actividad diaria está marcada por la velocidad, la diversidad y la disrupción. Por lo tanto, los líderes

están directamente enfocados en la acción, y tal acción está en la misma ruta del liderazgo racional con arreglo a fines (Weber, 1944).

A continuación, la tabla muestra las correlaciones halladas entre las variables directas del modelo transaccional y transformacional de Bass y Avolio (1994), de acuerdo con el modelo aplicado.

Tabla 2.10

Tabla cruzada de correlaciones entre las doce variables directas

Correlaciones – Líder													
Indicador (líder)		Liderazgo									Desempeño administrativo		
		RC	EI	DPE P	DPE A	LF	IIC	MI	IIA	CI	EE	S	E
Recompensa contingente	C. de Pearson		,531	,067	-,176	-,470	,428	,537	,360	,216	,626*	,561	,697*
	Sig. (bilateral)		,076	,837	,584	,123	,165	,072	,250	,501	,030	,058	,012
Estimulación intelectual	C. de Pearson	,531		-,409	-,211	-,610*	,385	,575	,334	,515	,566	,710*	,505
	Sig. (bilateral)	,076		,187	,511	,035	,216	,050	,288	,087	,055	,010	,094
Dirección por excepción pasiva	C. de Pearson	,067	-,409		,322	,301	-,447	-,518	,081	-,708*	-,122	-,092	-,228
	Sig. (bilateral)	,837	,187		,307	,342	,145	,084	,803	,010	,706	,775	,475
Dirección por excepción activa	C. de Pearson	-,176	-,211	,322		,480	-,452	-,448	-,150	-,342	-,419	-,198	-,040
	Sig. (bilateral)	,584	,511	,307		,114	,140	,144	,642	,277	,176	,537	,901
Laissez-Faire	C. de Pearson	-,470	-,610*	,301	,480		-,032	-,417	,011	-,081	-,385	-,196	-,454
	Sig. (bilateral)	,123	,035	,342	,114		,922	,177	,973	,802	,216	,541	,138
Influencia idealizada conductual	C. de Pearson	,428	,385	-,447	-,452	-,032		,677*	,519	,682*	,423	,638*	,276
	Sig. (bilateral)	,165	,216	,145	,140	,922		,016	,084	,014	,170	,026	,386
Motivación inspiracional	C. de Pearson	,537	,575	-,518	-,448	-,417	,677*		,603*	,661*	,648*	,717*	,665*
	Sig. (bilateral)	,072	,050	,084	,144	,177	,016		,038	,019	,023	,009	,018
Influencia idealizada atribuida	C. de Pearson	,360	,334	,081	-,150	,011	,519	,603*		,296	,634*	,854*	,386
	Sig. (bilateral)	,250	,288	,803	,642	,973	,084	,038		,350	,027	,000	,215
Consideración individualizada	C. de Pearson	,216	,515	-,708*	-,342	-,081	,682*	,661*	,296		,473	,505	,134
	Sig. (bilateral)	,501	,087	,010	,277	,802	,014	,019	,350		,121	,094	,678
Esfuerzo extra	C. de Pearson	,626*	,566	-,122	-,419	-,385	,423	,648*	,634*	,473		,756*	,599*
	Sig. (bilateral)	,030	,055	,706	,176	,216	,170	,023	,027	,121		,004	,039

Satisfacción	C. de Pearson	,561	,710*	-,092	-,198	-,196	,638*	,717*	,854*	,505	,756*		,513
	Sig. (bilateral)	,058	,010	,775	,537	,541	,026	,009	,000	,094	,004		,088
Eficacia	C. de Pearson	,697*	,505	-,228	-,040	-,454	,276	,665*	,386	,134	,599*	,513	
	Sig. (bilateral)	,012	,094	,475	,901	,138	,386	,018	,215	,678	,039	,088	

*Significativa correlación del 0,05 (Bilateral). **Significativa correlación del 0,05 (Bilateral). N: 12.

Nota. Estructura basada en Sánchez y Franco (2020). Incidencia del liderazgo sobre el desempeño organizacional.

4.4. Discusiones

La perspectiva teórica transaccional y transformacional de Bass y Avolio (1994), y el tratamiento de los datos pertenecen a la disciplina de pensamiento positivista (Durkheim, 2001). En estas discusiones se suma la perspectiva antipositivista de Weber (1944); por tal razón, en esta etapa es importante la tensión dialéctica generada. Del mismo modo, el objeto de estudio es la acción social (Weber, 1944), basada en el subjetivismo y la acción humana de Kirzner (1992). La importancia del fenómeno de liderazgo para los líderes de alta y media gerencia de la UPTC, está en vincular los cambios introducidos por la Cuarta Revolución Industrial. Dichos cambios no son negativos para la gerencia académica de la UPTC, debido a que el estilo de liderazgo más utilizado por los líderes de dicha institución es el transformacional. A su vez, este es el estilo más adaptable a la velocidad de los cambios, como lo han resaltado autores como Murdock (1967).

La principal preocupación tiene que ver con el proceso de expansión de la racionalidad instrumental y la forma como imprime velocidad en los cambios organizacionales en el marco del fenómeno del capitalismo moderno. Sin olvidar los límites de esta investigación, puede decirse que los líderes de la UPTC son fácilmente adaptables al cambio. En cuanto a la velocidad de los cambios, cabe destacar que los líderes deben revisar esa variable, debido a que en el proceso de recolección de la evidencia empírica se observó cierto rechazo a los contenidos de los cuestionarios por parte de los líderes de algunas decanaturas y direcciones de escuela de las ciencias básicas o duras. En este sentido, en la Cuarta Revolución Industrial la velocidad a la cual suceden los cambios es más importante y más sensible que los mismos cambios.

Desde finales del siglo pasado esta advertencia se encuentra en trabajos y aportes como los de Kouses y Posner (1987).

4.4.1. Sobre el liderazgo carismático

Un líder carismático no deja de presentar sentimientos muy emotivos (Conger y Kanungo, 1994), y algunas veces irracionales, es decir, hay que seguirlo acríticamente en las situaciones en las cuales él lo decida (Weber, 1944), hasta con fervor religioso, pero también puede suceder lo contrario. Tales tipos de comportamiento extremos, de líderes y seguidores, se encuentran particularmente en el liderazgo carismático. Weber (1944) afirma que el proceso de expansión de la racionalidad instrumental –propio de la modernidad– tiene tanto aspectos positivos como negativos, y que en situaciones extremas pueden aparecer fenómenos sociales u organizacionales totalitaristas. Aquel pensador también advierte que el liderazgo carismático es el estilo de dominación más inestable, y sobre esta inestabilidad es necesario analizar los resultados del procesamiento de la evidencia empírica recolectada.

La mirada weberiana comprensivista contrasta con la perspectiva de inclinación positivista de Bass y Avolio (1994). Este contraste radica en que el liderazgo carismático es la variable más importante de la teoría transaccional y transformacional (Bass, 1990). Pero, paradójicamente, dicha teoría no otorga la suficiente importancia a los riesgos subyacentes y a la inestabilidad que trae consigo el estilo de liderazgo carismático. Tal inestabilidad y neutralidad sobre el liderazgo carismático es una clara advertencia aportada por Weber.

Para esta investigación, se hallaron correlaciones entre las variables de primer orden en la media gerencia y correlaciones entre las variables directas. El estilo de liderazgo carismático tiene una fuerte correlación de 0,854 con la satisfacción (con un p valor de 0,000). En menor intensidad, el carisma tiene una correlación de 0,634 con el esfuerzo extra (con un p valor de 0,027). Finalmente, el carisma tiene correlación de 0,603 con la motivación inspiracional, con un p valor de 0,038 (ver Tabla 2.10).

Estas tres correlaciones entre variables directas indican que el líder académico de la UPTC cree que la implementación de esfuerzo extra y motivación inspiracional, en su gestión, influirán significativamente en

el éxito de su estilo de liderazgo carismático. El análisis para la variable motivación inspiracional (MI) muestra que es la única variable que tiene correlación con las tres variables de desempeño administrativo (ver Tabla 2.10). Esto puede indicar que el líder de la universidad no cree que el éxito de su gestión de liderazgo dependa de la implementación total de un carisma inspiracional, dejando lugar a resultados de eficiencia o recompensa contingente (Bass, 1997) o de liderazgo racional, según Weber (1944).

Entre tanto, la correlación del carisma (IIA) con la variable satisfacción, pero no con la variable eficacia, evidencia que los líderes de la UPTC no creen que únicamente a partir de la implementación de liderazgo carismático se genere eficacia. Este equilibrio del líder es muy bien visto desde los aportes de Weber (1944), debido a que dicho autor afirma que el carisma es un estilo de liderazgo neutro, pero es también el estilo de liderazgo más inestable. Adicionalmente, Weber muestra cierta preferencia hacia el estilo de liderazgo racional formal, pero esto no quiere decir que desvirtúe el estilo de liderazgo carismático con capacidad responsable. Weber afirma que en la realidad lo que se observa en la gestión de un líder es una combinación de los tres tipos ideales (carismático, racional y tradicional) cada uno con diferentes grados de intensidad.

4.4.2. Sobre el liderazgo racional

Algunas investigaciones sobre liderazgo muestran que un alto porcentaje, entre el 85 % y el 95 % de variabilidad en liderazgo transformacional entre individuos es inexplicable (Rowold y Heinitz, 2007). A través de su objeto de estudio, la acción social, Max Weber (1944) argumenta que con el paso del tiempo el mundo moderno se inclina hacia el desarrollo de acciones racionales con arreglo a fines y que, por tal razón, las sociedades presentan una creciente racionalización. Para esta investigación, la no existencia de correlación entre las variables de liderazgo y desempeño administrativo en la alta gerencia, indica una clara preferencia del líder hacia la implementación de medidas de eficiencia (liderazgo racional) sobre las medidas carismáticas en su gestión.

El liderazgo racional es correspondiente al liderazgo transaccional en el modelo de Bass y Avolio (1994) y Avolio y Bass (1995). Pero Bass (1997)

argumenta que el objetivo de su teoría de liderazgo es lograr resultados organizacionales principalmente a través del liderazgo transformacional. En la muestra tomada en la UPTC, se halló para los líderes una correlación de 0,626, con un p valor de 0,030 entre las variables de recompensa contingente y esfuerzo extra (ver Tabla 2.10). La interpretación sugiere que el líder aprueba y está de acuerdo con la asignación de incentivos adicionales para generar esfuerzo extra, y que la aplicación del estilo de liderazgo recompensa contingente es necesaria para conseguir resultados de eficacia (Bass, 1997; Bass y Bass, 2008).

Este resultado puede indicar que el líder está de acuerdo con otorgar incentivos por esfuerzo extra para ganar eficacia, pero al final el líder no está satisfecho con esta implementación, lo hace por un simple costo-beneficio. En culturas individualistas occidentales los mejores rendimientos entre seguidores, son naturales y además premiados con una recompensa contingente. Pero en algunas culturas colectivistas orientales tal intercambio de recompensa contingente, es motivo de desprestigio y de fricciones en las organizaciones (Bass, 1997).

5. Conclusiones

Es notorio que el liderazgo transformacional coloca el estado de conciencia y eleva la motivación de los individuos, apoyándose en las necesidades jerárquicas básicas de (Maslow, 1954; Graen y Uhl-Bien, 1991). El liderazgo transformacional es la variable directa preferida en la sección académica de la organización UPTC, y es también implementado con más intensidad en la alta gerencia que en la media gerencia (Sánchez y Franco, 2020). Las correlaciones halladas entre las variables de primer orden, refuerzan las implicaciones prácticas subyacentes de los resultados para potenciar el conocimiento que tienen los líderes de la UPTC. Es decir, los líderes de esta universidad se adaptan más a los cambios que a la velocidad de los cambios. En consecuencia, ellos deberían profundizar en los efectos producidos por la velocidad de los cambios de la Cuarta Revolución Industrial en las organizaciones.

Este proyecto también exploró las correlaciones entre variables directas, sometiendo a las discusiones el estado del liderazgo carismático y racional. Se pueden evidenciar tensiones entre la perspectiva

comprehensivista y la positivista, que contribuyen a la reflexión sobre el fenómeno del liderazgo en una visión de conjunto. A través de los datos de la presente investigación, y de los aportes de Bass y Avolio (1994) y Weber (1944), el liderazgo carismático y el liderazgo racional muestran facetas interesantes en el contexto de la educación superior. El contraste entre la Cuarta Revolución Industrial y los resultados de esta investigación evidencia fortalezas para la adaptación al cambio, pero también expone debilidades en la adaptación a la velocidad de los cambios en los líderes de la UPTC.

A través de los datos de esta investigación, se puede observar la posición teórica positivista de Bass y Avolio (1994) sobre la fortaleza y la trascendencia del liderazgo carismático. Pero también son muy evidentes y sensatos los planteamientos comprensivistas de Weber (1944), sobre la inestabilidad del estilo de liderazgo carismático y los problemas subyacentes que puede generar su negativa gestión. Los líderes de la universidad estudiada no presentan posiciones extremas en cuanto a las escuelas de pensamiento, lo cual indica que son muy adaptables al cambio como tal. Pero en la Cuarta Revolución Industrial es más importante la velocidad de tales cambios. Para la producción de valor social en la época moderna parece que la disciplina de pensamiento positivista (de Bass y Avolio, 1994) encuentra en los fenómenos de liderazgo, alrededor de todo el planeta, rutas de eficiencia en la implementación de estilos de liderazgo neocarismático y transformacional, apoyados con medidas de liderazgo racional (Bass, 1997).

Algunos autores afirman que la actual realidad socioeconómica de la Cuarta Revolución Industrial es una combinación de economía de servicios (Spohrer et al., 2012). Del mismo modo, en el mercado, desde el sistema empírico se puede evidenciar qué tipo de formación debe recibir el profesional que requiere la Cuarta Revolución Industrial. Un caso puntual es el surgimiento de nuevos puestos de trabajo descritos por la IBM desde sus laboratorios en California, cuando lanzaron requerimientos sobre una nueva disciplina llamada Ciencia, Ingeniería y Gestión de los Servicios (SSME) (IBM, 2004). Entonces, la dinámica de los mercados muestra el surgimiento de asociaciones internacionales que abogan por el desarrollo de los profesionales para los nuevos puestos de trabajo tales como la Sociedad Internacional para Profesionales de Innovación de Servicios (ISSIP, por sus siglas en inglés) (Griffith y

Spohrer, 2019) y el Instituto de Investigaciones en Ciencias Sociales (SSRI, por sus siglas en inglés) (Singh, 2021). Los líderes académicos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia pueden apoyarse en de los resultados sobre sus propios estilos de liderazgo, y asimilar una capacidad interpretativa que promueva la velocidad en el cambio que se requiere para liderar con éxito la formación de nuestros profesionales.

6. Referencias

- Arredondo, F. G., y Maldonado, V. (2010). Differences between the relationship styles according to the model of Bernard Bass. *Estudios Gerenciales ICESI*, 26(114), 59-75. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(10\)70102-9](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(10)70102-9)
- Avolio, B., y Bass, B. (1995). Individual consideration viewed at multiple levels of analysis: A multi-level framework for examining the diffusion of transformational leadership. *The Leadership Quarterly*, 6(2), 199-218. [https://doi.org/10.1016/1048-9843\(95\)90035-7](https://doi.org/10.1016/1048-9843(95)90035-7)
- Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Benedettini, O., y Kay, J. M. (2009). The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 547-567. <https://doi.org/10.1108/17410380910960984>
- Bass, B. (1990). From transactional to transformational leadership: Learning to share the vision. *Organizational Dynamics*, 18(3), 19-31. [https://doi.org/10.1016/0090-2616\(90\)90061-S](https://doi.org/10.1016/0090-2616(90)90061-S)
- Bass, B. (1995). *A new paradigm of leadership: An Inquiry Into Transformational Leadership*. Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. <https://doi.org/10.21236/ADA306579>
- Bass, B. (1997). Does the Transactional-Transformational Leadership Paradigm Transcend Organizational and National Boundaries? *American Psychologist*, 52(2), 130. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.2.130>

- Bass, B., y Avolio, B. (1994). *Improving organizational effectiveness through transformational leadership*. Sage. https://books.google.com.co/books?id=_z3_BOVYK-IC&lpq=PP11&ots=aTq_0eFLRI&lr&hl=es&pg=PA10#v=onepage&q&f=true
- Bass, B., y Avolio, B. (1993). Transformational leadership and organizational structure. *Public Administration Quarterly*, 17(1), 112-121. <https://www.jstor.org/stable/40862298>
- Bass, B., y Bass, R. (2008). *The Bass handbook of leadership: Theory, research, and managerial applications* (4ta ed.). The Free Press.
- Blake, R., y Mouton, J. (1982). A comparative analysis of situationalism and 9,9 management by principle. *Organizational Dynamics*, 10(4), 20-43. [https://doi.org/10.1016/0090-2616\(82\)90027-4](https://doi.org/10.1016/0090-2616(82)90027-4)
- Blanchard, K., y Hersey, P. (1996). Great ideas revisited. *Training & Development Journal*, 50(1), 42-47.
- Burns, J. M. (1978). *Leadership*. Harper & Row.
- Churchill, G. A., y Peter, P. J. (1984). Research design effects on the reliability of rating scales: A meta-analysis. *Journal of Marketing Research*, 21(4), 360-375. <https://doi.org/10.1177/002224378402100402>
- Conger, J. A., y Kanungo, R. N. (1987). Toward a behavioral theory of charismatic leadership in organizational settings. *Academy of Management Review*, 12(4), 637-647. <https://doi.org/10.5465/amr.1987.4306715>
- Conger, J. A., y Kanungo, R. N. (1994). Charismatic Leadership in Organizations: Perceived Behavioral Attributes and Their Measurement. *Journal of Organizational Behavior*, 15(5), 439-452. <https://doi.org/10.1002/job.4030150508>
- Conger, J. A. (1993). Max Weber's conceptualization of charismatic authority: Its influence on organizational research. *The Leadership Quarterly*, 4(3-4), 277-288. [https://doi.org/10.1016/1048-9843\(93\)90035-R](https://doi.org/10.1016/1048-9843(93)90035-R)

- Drucker, P., Hesselbein, F., y Kuhl, J. (2015). *Peter Drucker's Five Most Important Questions: Enduring Wisdom for today's Leaders*. Wiley.
- Durkheim, E. (2001). *Las reglas del método sociológico*. Fondo de Cultura Económica.
- Echeverría, R. (2008). *La empresa emergente, la confianza y los desafíos de la transformación*. Ediciones Garnica S.A.
- Fayol, H. (1986). *Administración Industrial y General*. Orbis.
- Fiedler, F. E. (1971). Validation and extension of the contingency model of leadership effectiveness: A review of empirical findings. *Psychological Bulletin*, 76(2), 128-148. <https://doi.org/10.1037/h0031454>
- Gómez, N., y Rodríguez, J. (2014). Análisis de la Producción Científica Matemática en Colombia Base Web Knowledge (2001-2012). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 70-84. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2014.1660>
- Graen, G. B., y Uhl-Bien, M. (1991). The Transformation of Professionals into Self-Designing and partially self-designing contributors: Toward a theory of leadership-making. *Journal of Management Systems*, 3(3), 25-39. <https://digitalcommons.unl.edu/managementfacpub/16>
- Griffith, T., y Spohrer, J. (2019). *The International Society of Service Innovation Professionals*. <https://issip.org/>
- Hayek, F. A. (2017). The Theory of Complex Phenomena. En F. von Hayek, *Critical Approaches to Science and Philosophy* (pp. 332-349). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781351313087>
- Hermosilla, D., Amutio, A., da Costa, S., y Páez, D. (2016). Transformational Leadership in organizations: Mediating variables and long-term consequences. *Journal of Work and Organizational Psychology*, 32(2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.rpto.2016.06.003>

- Hiller, N. J. (2005). *An examination of leadership belief and leadership self-identity: Constructs, correlates, and outcomes*. The Pennsylvania State University. https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/4625
- House, R., y Howell, J. (1992). Personality and charismatic leadership. *Leadership Quarterly*, 3(2), 81-108. [https://doi.org/10.1016/1048-9843\(92\)90028-E](https://doi.org/10.1016/1048-9843(92)90028-E)
- Howell, J., y Hall-Merenda, K. (1999). The ties that bind: The impact of leader-member exchange, transformational and transactional leadership, and distance on predicting follower performance. *Journal of Applied Psychology*, 84(5), 680. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.5.680>
- International Business Machines Corporation. (2004). IBM Research, Services Sciences: A new academic discipline. *Report on the Architecture of on Demand Business Summit*.
- Kamp, B., y Gibaja, J. (2021). Adoption of digital technologies and backshoring decisions: is there a link? *Operations Management Research*, 14(3), 380-402. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00202-2>
- Kezar, A., y Eckel, P. D. (2002). The effect of institutional culture on change strategies in higher education: Universal principles or culturally responsive concepts? *Journal of Higher Education*, 73(4), 435-460. <https://doi.org/10.1353/jhe.2002.0038>
- Kirzner, I. (1992). Subjectivism, Freedom and Economic Law Ludwig Lachman Memorial Lecture. *South African Journal of Economics*, 60(1), 24-33. <https://doi.org/10.1111/j.1813-6982.1992.tb00214.x>
- Kouzes, J. M., y Posner, B. Z. (1987). *The leadership challenge: How to get extraordinary things done in organizations*. Jossey-Bass.
- Kreitner, R., y Kinicki, A. (1997). *Comportamiento de las organizaciones*. McGraw Hill.

Leithwood, K., Jantz, D., y Steinbach, R. (1999), Changing Leadership for Changing Times. *International Journal of Educational Management*, 13(6), 301-302. <https://doi.org/10.1108/ijem.1999.13.6.301.4>

Lewin, K., Lippitt, R., y White, R. (1939). Patterns of aggressive behavior in experimentally created "social climates". *Journal of Social Psychology*, 10(2), 269-299. <https://doi.org/10.1080/00224545.1939.9713366>

Likert, R. (1986). *Nuevas formas de solucionar conflictos (Teoría de la Gestión)*. Trillas.

Maidique, M. A., y Hiller, N. J. (2018). The mindsets of a leader. *MIT Sloan Management Review*, 59(4), 76-81. <http://www.scopus.com/inward/record.url?partnerID=HzOxMe3b&scp=85048991581&origin=inward>

Maslow, A. H. (1954). *Motivation and personality*. Harper & Row. <https://www.eyco.org/nuovo/wp-content/uploads/2016/09/Motivation-and-Personality-A.H.Maslow.pdf>

McGregor, D. (1960). *The Human*. Mcgraw Hill.

Menger, C., Antiseri, D., y de la Fuente, J. M. (2006). *El método de las ciencias sociales*. Unión Editorial.

Mintzberg, H. (2004). *MANAGERS NOT MBAs. A hard look at the soft practice of managing and management development*. Barret-Koehler Publishers, Inc.

Murdock, G. P. (1967). Ethnographic atlas: A Summary. *University of Pittsburgh - Of the Commonwealth System of Higher Education*, 6(2), 109-236. <https://doi.org/10.2307/3772751>

- Roberto, Á., Aranguren, M., Canto, P., Fernández, J., Gamboa, J., Gil, I., Franco, S., Lafuente, A., Larrea, M., Magro, E., Menéndez, J., Navarro, M., Peletier, C., Salado, J., Sisti, E., Valdaliso, J., Murciego, A., y Wilson, J. (2021). *Informe de Competitividad del País Vasco 2021 Construir la Competitividad al Servicio del Bienestar*. Orkestra - Instituto Vasco de Competitividad Fundación Deusto. <https://www.orkestra.deusto.es/es/investigacion/publicaciones/informes/informe-competitividad-pais-vasco/2293-210037-informe-competitividad-2021-constriuir-competitividad-bienestar>
- Rowold, J., y Heinitz, K. (2007). Transformational and charismatic leadership: Assessing the convergent, divergent and criterion validity of the MLQ and the CKS. *The Leadership Quarterly*, 18(2), 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2007.01.003>
- Ruelas-Gossi, A., y Sull, D. (2006). Orquestación estratégica la clave para la agilidad en el escenario global. *Harvard Business Review*, 84(11), 42-52.
- Sánchez, L., y Franco, N. (2020). *Incidencia del liderazgo sobre el desempeño organizacional desde los procesos de acreditación de alta calidad: Caso Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. [Trabajo de grado de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio institucional.
- Sashkin, M. (1988). "The visionary leader". En J. Conger y R. Kanungo, *The Jossey-Bass series. Charismatic Leadership. The elusive factor in organizational effectiveness* (pp. 122-160). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1177/0013124588020003002>
- Shin, S. J., Kim, T. Y., Lee, J. Y., y Bian, L. (2012). Cognitive team diversity and individual team member creativity: A cross-level interaction. *Academy of management journal*, 55(1), 197-212. <https://doi.org/10.5465/amj.2010.0270>
- Simon, H. (1983). *Reason in Human Affairs*. Stanford University Press.
- Singh, K. (2021). *Service Research & Innovation Institute*. <https://thesrii.org/>
- Spohrer, J., Fodell, D., y Murphy, W. (2012). Ten Reasons Service Science Matters to Universities. *Educause Review*, 47(6), 52.

- Stogdill, R. M. (1948). Personal factors associated with leadership: A survey of the. *Journal of Psychology*, 25(1), 35-71. <https://doi.org/10.1080/00223980.1948.9917362>
- Taylor, F., y Thompson, S. (2018). *Concrete Costs: Tables and Recommendations for Estimating the Time and Cost of Labor Operations in Concrete Construction and for Introducing Economical Methods of Management*. Scholar select.
- Vega, C., y Zavala, G. (2004). *Adaptación del cuestionario multifactorial de liderazgo (MLQ Forma 5X Corta) da B. Bass y Avolio al contexto organizacional chileno*. [Trabajo de grado, Universidad de Chile]. http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2004/vega_c/sources/vega_c.pdf
- Walumbwa, F., Maidique, M. A., y Atamanik, C. (2014). Decision-making in crisis: What every leader needs to know. *Organizational Dynamics*, 4(43), 284-293.
- Wang, H., Law, K. S., Hackett, R. D., Wang, D., y Chen, Z. X. (2005). Leader-Member Exchange as a Mediator of the Relationship between Transformational Leadership and Followers' Performance and Organizational Citizenship Behavior. *The Academy of Management Journal*, 48(3), 420-432. <http://www.jstor.org/stable/20159668>
- Weber, M. (1944). *Economía y Sociedad*. Fondo de Cultura Económica. <https://zoonpolitikonmx.files.wordpress.com/2014/08/max-weber-economia-y-sociedad.pdf>
- Weber, M. (1949). *The methodology of the social sciences*. The Free Press.
- Yammario , F., Spangler, W., y Bass, B. (1993). A new paradigm of leadership. An inquiry into transformational leadership. *Leadership Quarterly*, 4(1), 81-102. [https://doi.org/10.1016/1048-9843\(93\)90005-E](https://doi.org/10.1016/1048-9843(93)90005-E)

Fabricación inteligente y gemelos digitales en la Industria 4.0

Darío Jesús Quiroga-Parra⁹
Sandra Milena Zambrano Vargas¹⁰

El capital conocimiento puede darse o repartirse indefinidamente, enriqueciendo a muchos. Esta acción no empobrece a quien reparte su conocimiento.

Resumen

A través de los siglos, el progreso de la humanidad ha estado marcado por el avance en el conocimiento, la tecnología, la innovación y los desarrollos organizacionales que las sociedades han realizado y adoptado. Del siglo XVIII a la fecha, los seres humanos hemos trasegado por cuatro revoluciones industriales tecnológicas que nos han llevado a mejorar la productividad y la calidad de vida. En la actualidad, nos encontramos en la Cuarta Revolución o Industria 4.0, que ha traído enormes avances en todos los campos, en especial en el de la producción. El propósito del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica de dos de las tecnologías más importantes de la Industria 4.0, que

⁹ Doctor en Ingeniería. Docente de la Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Contables de la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC). Correo electrónico: dario.quiroga@campusucc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-0765>

¹⁰ Doctora en Administración. Docente de la Escuela de Administración de Empresas de la UPTC, seccional Tunja. Investigadora del Grupo de Investigación IDEAS. Correo electrónico: sandra.zambrano01@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3492-6971>

tienen una incidencia importante en las empresas manufactureras: la fabricación inteligente y los gemelos digitales. Para lo anterior, se indagó en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Google Académico, por documentos relacionados con estas temáticas, lo que facilitó una revisión amplia de la literatura internacional que los ha estudiado. Los resultados exponen la trascendencia de la fabricación inteligente y los gemelos digitales en la actual Cuarta Revolución Industrial. Además, la indagación deja ver los retos que enfrentan las organizaciones para abordar estos avances, en cuanto a gestión y formación o capacitación del capital humano. El documento concluye exponiendo el acelerado progreso de estas tecnologías digitales y su importancia para la fabricación industrial.

1. Introducción

Desde la Primera Revolución Industrial, ocurrida en la segunda mitad del siglo XVIII, en Inglaterra, han surgido múltiples tecnologías y nuevos conocimientos que han generado avances científicos sin precedentes en los diferentes campos de la ciencia. Las dos primeras revoluciones industriales sentaron las bases científicas y tecnológicas para que la Tercera y Cuarta Revolución Industrial iniciaran una enorme transformación tecnológica en las empresas, la economía, la sociedad, y en otros múltiples ámbitos de todos los campos. De manera que se han estado transformando, desde entonces, actividades como las formas de comunicarnos, la forma de trabajar, manufacturar, comercializar y realizar transacciones económicas nacionales e internacionales. La consecuente transformación de los procesos manufactureros se ha dado gracias a la integración lograda entre tecnologías ya existentes, pero que trabajaban de aisladas, que ahora encuentran puntos comunes en todos los aspectos de la organización, no solo como tal en la producción, sino que aplican una visión sistémica capaz de comprender el entorno; en otras palabras, se ha cambiado el modo de hacer negocios (Ynzunza et al., 2017).

Una de las mayores transformaciones que ha tenido la humanidad y que han acelerado el progreso científico y tecnológico ha sido el surgimiento de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Esto a razón de que las TIC, además de protagonizar el nacimiento de

las actividades digitales, han facilitado y acelerado el desarrollo de los procesos de información y comunicación, constituyéndose en la base material, tecnológica y conceptual de la Industria 4.0 (Quiroga-Parra et al., 2017a y 2017b). La fuerte y masiva disponibilidad de información en Internet, sumada a la dinámica formación académico-científica del capital humano en el mundo, ha permitido la generación de nuevo conocimiento científico. Sistemáticamente, esto ha generado altos niveles de innovación y de creación de nuevas tecnologías, como es el caso de la emergente Industria 4.0, en la Cuarta Revolución Industrial, con múltiples y disruptivas innovaciones tecnológicas (Quiroga-Parra et al., 2022; Rocha-Jácome et al., 2022). Es destacable, igualmente, el protagonismo científico mundial en el desarrollo de la carrera espacial de la astronomía y la astrofísica; muchas de estas tecnologías digitales se han desarrollado, experimentado y aplicado como aporte científico-tecnológico, y posteriormente se han incorporado a las empresas, la medicina y el contexto económico de los países desarrollados.

Como concepto, la Industria 4.0 tuvo su origen en Alemania. Sin embargo, muchos otros países desarrollados, entre ellos Estados Unidos, China, Inglaterra, Japón y Corea, han dado inicio a una acelerada carrera tecnológica con la intención de aumentar, aún más, sus niveles de productividad y competitividad internacional, fortalecer la flexibilidad en la producción, con la consecuente reducción de costos y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, en términos estratégicos y de eficiencia productiva. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura sobre los temas de Industria 4.0, específicamente en lo que respecta al smart manufacturing y los gemelos digitales, avances que impactan a las empresas manufactureras en el ámbito de la fabricación.

Para lo anterior, el uso de las bases de datos de Scopus, Web of Science y Google Académico sirvió como cimiento para la elaboración de una revisión bibliográfica que facilitó determinar los artículos científicos recientes, los más citados y los de mayor impacto en el desarrollo y avance de la Industria 4.0 en las tecnologías estudiadas. El alcance era internacional y la tipología del material que se rastreaba se concentraba en los artículos. Los resultados evidencian grandes avances y una robusta estructuración de la fabricación inteligente en las empresas de los países desarrollados. El trabajo concluye exponiendo los avances

y aplicaciones fundamentales de la Industria 4.0 en las empresas de manufactura, a través de la fabricación inteligente y de los gemelos digitales, lo que lleva a definir otros aspectos vitales para cualquier organización, como son la gestión y las capacidades del capital humano necesario para abordar los cambios propuestos en la Cuarta Revolución Industrial.

Estructuralmente, el capítulo está compuesto por los siguientes apartados: una aproximación a la revisión bibliográfica de la Industria 4.0 y la fabricación inteligente (smart manufacturing) en sus diversos campos, el desarrollo del tema de los gemelos digitales y su rol dentro del proceso de la fábrica inteligente; posteriormente, se exponen los retos de la gestión de las organizaciones en la era de la Industria 4.0; y, finalmente, se agregan las conclusiones y referencias bibliográficas utilizadas en este estudio.

2. Metodología

Para el presente trabajo se adelantó el siguiente proceso metodológico. En la primera fase, se recurrió a realizar una revisión bibliométrica en las bases de datos de Scopus y Web of Science. Este proceso facilitó la revisión del total de publicaciones sobre los temas “fabricación inteligente” y “gemelos digitales”, ambos en la Industria 4.0. Además, fueron rastreados, específicamente, los artículos científicos más citados y los más recientes, en ambas plataformas.

En la fase dos se eliminaron los documentos que no pertenecían al tema, en pro de conformar una lista más detallada de los artículos científicos relevantes para esta investigación. Seguidamente, se seleccionaron los artículos que recibieron el mayor número de citas entre toda la literatura internacional existente en el momento de la investigación. El motor de búsqueda de Google Académico contribuyó a encontrar los artículos que no estaban registrados en las dos bases de datos inicialmente consultadas. La lectura rigurosa de los artículos relevantes y de interés para el trabajo fue la base material seleccionada para realizar el presente trabajo académico de revisión de literatura dentro del contexto de la Industria 4.0, la fabricación inteligente y la tecnología de los gemelos digitales.

3. Una primera aproximación de revisión de literatura

3.1. La Industria 4.0

La Industria 4.0 ha sido llamada la Cuarta Revolución Industrial en la era de la humanidad. La Industria 4.0 (sintetizada en ocasiones como I4.0) fue concebida desde sus inicios como una filosofía y una estrategia. De hecho, la Industria 4.0, así como las múltiples tecnologías que la conforman, se ha convertido hoy en un paradigma para las empresas, las personas y los países, debido a que su aplicación exige la convergencia múltiple de la ciencia, la tecnología y la innovación (C&T+I). La Industria 4.0 se forjó entre los años 2011 y 2015 en Alemania y fue reconocida en el World Economic Forum (WEF, 2015).

No obstante, esta Cuarta Revolución no es más que la acelerada dinámica de los procesos de ciencia y tecnología protagonizada por la comunidad científica internacional, pero en específico por los llamados actualmente “países desarrollados”, liderados por la OECD. De modo que a la Industria 4.0 le preceden tres revoluciones, donde han estado presentes el conocimiento (ciencia), la tecnología y la empresa (el trabajo). La Primera Revolución Industrial ocurrió en Inglaterra, entre 1760 y 1840, a través de una transformación económica, social y tecnológica en donde la máquina de vapor y la mecanización fueron protagonistas. Esta revolución fue de gran transcendencia, a razón de que por medio de ella se pasó de una economía rural, fundamentada en la agricultura y el comercio, a una economía diferente, de características urbanas, con una industrialización empresarial mecanizada.

Igualmente, le prosigue la Segunda Revolución Industrial, cuyo protagonista fue Estados Unidos, entre los años 1840 y 1870, con la invención del motor a combustión y la energía eléctrica. Sus efectos más directos fueron los automóviles y el uso intensivo de la electricidad, a su vez, ambos aceleraron el desarrollo industrial y las economías globales. En ese contexto, es destacable el uso de combustibles, como el petróleo y el gas, que permitieron que los nuevos medios de transporte fueran protagonistas. Pueden servir de ejemplo el automóvil, el avión y las nuevas máquinas a vapor. Además, la invención del teléfono y la radio marcaron hitos históricos.

Posteriormente, el advenimiento de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), entre las décadas de 1960-1970, dio origen a la Tercera Revolución del conocimiento, la tecnología y la industria. Esta Tercera Revolución señala como protagonista a dos estadounidenses: Steve Jobs y Stephen Gary Wozniak, creadores de Apple. Su trabajo, así como el de muchos otros genios de la informática, promovió la apropiación masiva de las computadoras personales (PC) y la creación de la agencia ARPA (Advance Research Project Agency) que sirvió de vanguardia para el diseño y la creación de Internet.

Con base en lo anterior, las TIC pueden ser consideradas como la base material y conceptual de la Industria 4.0 (Quiroga-Parra et al., 2022). En la I4.0 se da una integración de las diferentes tecnologías en un sistema, con los contextos físicos de las máquinas, el ciberespacio y el hombre trabajador (Rupp et al., 2021). El rol de las TIC es ciertamente la integración de todo (múltiples contextos tecnológicos-virtuales-materiales y humanos) en un sistema de relativa facilidad de comprensión y manejo. Ciertamente, la multiplicidad de ese proceso de integración hace que este paradigma parezca muy complejo.

Es así como de la empresa tradicional se está pasando a una empresa con capacidad de integrar todos sus procesos productivos internos, la cadena logística de valor con los proveedores y clientes en el contexto local y en el global. Autores como Rupp et al. (2021) han postulado una definición de la I4.0, desde la integración de los sistemas Cyber Physical necesarios, haciendo uso de las TIC y el internet de las cosas (IoT) con la *Cloud Computing*, el Big Data y la inteligencia artificial (IA), para formar una fabricación inteligente, interrelacionada en tiempo real en la cadena de valor.

Algunas de las tecnologías más utilizadas en la I4.0 en las empresas son: TIC, Sistemas ciberfísicos (CPS), internet de las cosas (IoT), interfaz hombre-máquina (HMI), Big Data (BD), sistema de ejecución de fabricación (MES), radiofrecuencias (RFID), robótica colaborativa, inteligencia artificial (IA), gemelo digital (DT), ciberseguridad, computación en la nube (CC), redes de sensores inalámbricos (WSN), realidad aumentada (AR), drones, simulación, realidad virtual (VR), plataformas colaborativas (CP), ambientes virtuales 3D y fabricación aditiva 3D (AM) (Helu et al., 2016; Lu et al., 2020; Cinar et al., 2019; Qi y Tao, 2018 y Tao et al., 2021).

Las tecnologías digitales y la Industria 4.0 pueden ayudar a las empresas pequeñas y a las emergentes a tomar de estas tecnologías las ventajas características y aprovechar una parte importante de los equipos originales tradicionales, haciendo uso del concepto de digitalización, fabricación inteligente y computación en la nube. Entonces, parece posible cerrar la brecha entre las grandes y pequeñas empresas de la mayoría de las industrias, logrando mantener la ventaja competitiva y elevando los niveles de calidad y productividad (Garetti et al., 2012; Schleich et al., 2017; Moiceanu y Paraschiv, 2022).

3.2. La fabricación inteligente o smart manufacturing

En concordancia con lo expuesto en un apartado previo, se puede afirmar que las TIC son el fundamento conceptual, tecnológico y material tanto de la Industria 4.0 como de smart manufacturing y de los sistemas ciberfísicos, jugando estas un rol relevante en los sistemas de fabricación (Quiroga-Parra et al., 2022). Dada la importancia de estas tecnologías para las empresas de Colombia y América Latina, este capítulo las describe, de forma sucinta, como un aporte a la industria de la región, de los países, que más temprano que tarde deben protagonizar estos procesos, dados los altos niveles de competitividad internacional que se avecinan. Las denominadas tecnologías avanzadas, como los sistemas ciberfísicos (CPS), la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT), el internet industrial (II), blockchain (BCH), Smart Manufacturing System (SMS), los gemelos digitales y muchas otras, han hecho que las empresas y los países inicien procesos de transformación tecnológica de modo acelerado con el propósito de poder competir en los mercados internacionales altamente exigentes (Qu et al., 2019). Este es el caso de China, Alemania y Estados Unidos, seguidos por muchos otros, para quienes la estrategia es convertir a la manufactura en una serie de procesos inteligentes de fabricación con altos indicadores de rendimiento.

De hecho, para los sistemas de fabricación, la I4.0 o Cuarta Revolución Industrial es ciertamente una nueva etapa tecnológica de máximas expectativas, cuyas características centrales son la capacidad de responder rápidamente a la competencia internacional y la personalización de los productos. Esta tecnología reviste una enorme importancia para algunos países desarrollados, que la han tomado como estrategia

propia de liderazgo nacional y con una visión prospectiva internacional. Así, por ejemplo, en China la estrategia se denomina “China 25-30”; en Estados Unidos, “fabricación inteligente”; y en Corea del Sur, *manufacturing innovation 3.0* (Kang et al., 2016; Qu et al., 2019).

Dentro de los procesos de SMS, la cadena de suministros de las empresas juega un papel importante en todo su contexto. Esta es en sí misma un entorno heterogéneo que posee múltiples propósitos. La idoneidad de los procesos es un elemento relevante que requiere niveles óptimos de confiabilidad para asegurar la alta calidad de los productos fabricados. Uno de los pocos factores que garantizan bajos niveles de desviación estándar en la calidad es la digitalización de los procesos, minimizando los errores humanos (Wilding, 1998). Así mismo, esta debe estar presente tanto en la planificación (Serrano-Ruiz et al., 2021) como en la misma programación de la producción (Pinedo, 2012). De hecho, desde los aportes de Gantt, Knoeppel y Coes, señalados por McKay (1999), especialmente con las TIC, muchos otros aportes relevantes se han generado, incluyendo el de Serrano-Ruiz et al. (2021), con los gemelos digitales.

3.3. La evolución de la fabricación inteligente (smart manufacturing)

Más allá de la fabricación inteligente, en inglés “smart manufacturing”, se encuentran los sistemas de fabricación inteligente (SMS). En general, la manufactura inteligente dio sus inicios con el advenimiento de las TIC. Se pueden destacar cuatro periodos en su fase de desarrollo, los años 1970, 1990, 2010 y del 2014 a la fecha. En estos cuatro periodos se produjeron eventos destacables. Primero, en la década 1960-1970, se dio el nacimiento de las tecnologías de computación, simbolizadas en el computador personal (PC), que dio origen a la masificación de su uso; esto se suma al inicio de la manufactura integrada por computador. El segundo evento, en los años 1990, fue la integración de la tecnología informática, el pensamiento Lean y la inteligencia artificial (IA); así mismo, comenzó la integración del cliente a los procesos de manufactura y surgió la fabricación inteligente. La tercera fase se abrió paso en el 2010, en donde surgieron el sistema ciberfísico (CPS), la computación en la nube (CC), Big Data (BD), internet de las cosas (IoT), la AI 2.0, la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR), y el blockchain; también se genera la sostenibilidad y la participación del cliente, y emerge el sistema de fabricación inteligente (SMS). La fase

cuarta se consolida con el reconocimiento de la Industria 4.0, como la Cuarta Revolución Industrial, entre los años 2011-2015, y como una filosofía-estrategia-tecnológica, en donde se destacan las tecnologías habilitadoras, los nuevos modelos de negocio y el paradigma de fabricación (Coalition SML, 2011; Qu et al., 2019).

Los SMS son sistemas dinámicos inteligentes avanzados que facilitan la agilidad en la manufactura de productos, proporcionando respuestas rápidas a la demanda de nuevos productos por parte de los clientes y optimizando el tiempo de producción y la cadena de redes de suministros. Estas plataformas integran la cadena de suministros, las operaciones productivas, los productos terminados, los sistemas comerciales, los centros de distribución y los clientes (Coalition SML, 2011). Técnicamente, desde la perspectiva de la comunicación y la interconexión, el uso de sensores y de las TIC proporciona la información de la captura de datos (Big Data), que facilitan los procesos de IoT y el CPS (Zheng et al., 2018). En el sistema, los datos se muestran de manera ubicua en entornos de Big Data, facilitando el análisis predictivo, la planificación, programación y control de los procesos de manufactura. Igualmente, de modo predictivo los datos proveen el suministro de materiales, la fabricación, el control de calidad, la evaluación de riesgos y el diagnóstico de fallas. Cuando una empresa posee el interés de iniciar el proceso de transformación hacia la Industria 4.0 debe considerar algunos aspectos relevantes: primero, definir los objetivos deseados; segundo, establecer los requisitos funcionales; tercero, determinar los requisitos tecnológicos; y, finalmente, asentar los requisitos comerciales (Qu et al., 2019).

En relación con el primer punto del objetivo, si bien es cierto que no existe precisión en la definición de SMS, este proceso se puede alcanzar con aproximaciones relevantes definidas desde el principio. En consecuencia, el desarrollo de objetivos estratégicos es importante en la fase de diseño del SMS, aspecto que se puede concretar alrededor del software del controlador y del equipo de fabricación, que puede estar habilitado con sensores, como sugieren Bititci et al. (2021).

3.4. La estructura tecnológica de la empresa inteligente

Los procesos de diseño e implementación de la empresa inteligente sugieren la integración digital de todos los recursos de la empresa, desde las diferentes perspectivas. Eso puede incluir el sistema financiero

y de costos. La Tabla 3.1 expone una de las primeras aproximaciones conceptuales de la fabricación inteligente en un sistema digital autónomo. La primera columna presenta los requerimientos del sistema; la segunda señala el tipo de tecnología o conocimiento requerido; y la tercera contiene el elemento conceptual del proceso.

Tabla 3.1
Estructura de requerimientos de smart manufacturing

Requerimientos SMS	Tipo tecnología / conocimiento	Concepto
Objetivos clave	Valor sostenible	Valor económico, valor social, valor medio ambiente
	Consortio ganar-ganar	Proveedores, comunidad, fabricantes
Función	Autodetección	Detección de estado cognitivo
	Autoadaptación	Detección de anomalías Adaptación
	Autoorganización	Reconfiguración Balanceo de carga
	Autodecisión	Predicción y pronósticos Optimización
Tecnologías emergentes	Big Data	Generación de conocimiento y creación de valor Predicción y detección de anomalías Toma de decisiones precisas y oportunas
	CPS	Comunicación en tiempo real Interacción y comunicación Computación
	IoT	Interconexión Sincronización y optimización en tiempo real
	Computación en la nube	Computación de alto rendimiento Plataforma / distribución de recursos
	Inteligencia artificial	Predicción de fallas mecánicas Predicción de la vida útil restante
	Realidad aumentada	Compartición de conocimiento

Requerimientos SMS	Tipo tecnología / conocimiento	Concepto
	Realidad virtual	Mejora de la satisfacción del usuario
	Impresión 3D	Impresión bajo demanda, fácil de mantener e implementar
	Blockchain	Inmutabilidad, antifalsificación
	Gemelos digitales	Representación digital de un producto ya existente
Negocios	Planeación de negocios y logística	Planeación y control, garantía de desempeño, diseño y mejora
	Administración de operaciones	Análisis de fabricación, gestión de la cadena de suministro
	Control	Gestión de la calidad, máquinas inteligentes y robótica avanzada

Nota. Elaboración propia con datos de Qu et al. (2019).

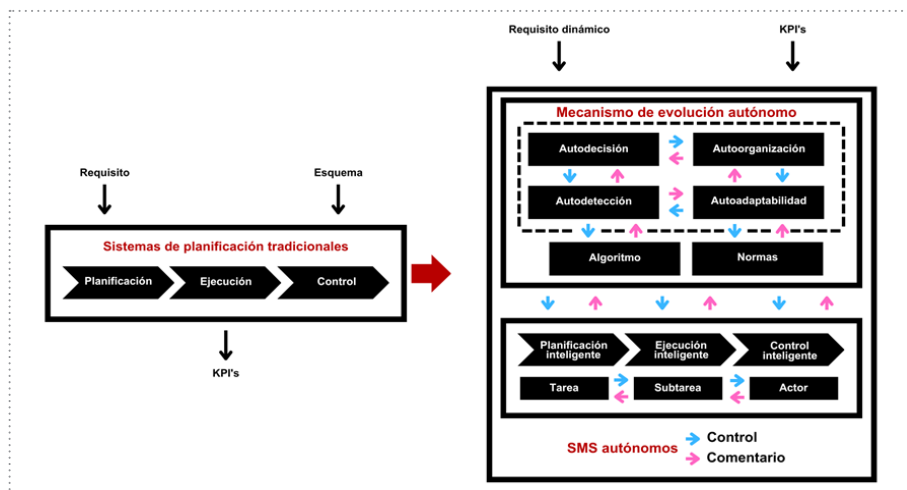
Otro de los componentes importantes del SMS es el nivel físico, llamado también capa física del SMS. En este contexto, a nivel general, se encuentran los siguientes elementos tecnológicos: los sensores, equipos logísticos inteligentes, dispositivos de almacenamiento y comunicación, equipos celulares móviles, pantalla de visualización, máquinas inteligentes y robótica. De hecho, los niveles físicos son considerados requisitos esenciales, incluyendo las células inteligentes y los agentes múltiples. Estas últimas están equipadas con elementos como los actuadores y las tecnologías de comunicación, los sensores, los equipos de robótica, el medidor inteligente y la misma máquina inteligente. No obstante, otras infraestructuras tecnológicas pueden conectarse entre sí. Esto último, normalmente se hace a través de nuevos módulos inteligentes, que son conectados al sistema central mediante el uso del bluetooth y del Wi-Fi. Siempre que se adaptan nuevos módulos al sistema, se logra que los elementos y procesos de producción se vuelvan más inteligentes.

El software y los sistemas operativos inteligentes son dos de los elementos centrales del SMS. Así mismo, el dispositivo inteligente está compuesto por el funcionamiento y la decisión inteligente. Aun cuando todos funcionan integrados, como un sistema, elementos como

RFID y GPS cumplen funciones logísticas especiales en el rastreo de los materiales y el proceso de despacho de los productos en la logística interna y externa de la empresa. Aspecto este que proporciona información interna y externa hacia los clientes. Así mismo, es preciso señalar que el sistema físico del SMS presenta ciertas características o atributos, como la adaptabilidad, usabilidad, reconfiguración, capacidad de interconexión y autonomía (Qu et al., 2019).

De su parte, la Figura 3.1 describe en el lado izquierdo la manufactura tradicional que se utiliza hoy en día, con su respectivo indicador clave de desempeño, en inglés *Key Performance Indicator (KPI)*¹¹. La sección derecha expone una aproximación al diseño de un SMS en Industria 4.0.

Figura 3.1
De la manufactura tradicional a la fábrica inteligente de SMS



Nota. Qu et al. (2022).

Según lo observado, pasar de la fabricación tradicional mecanizada a la manufactura automatizada y sistematizada requiere que los mecanismos tradicionales evolucionen hacia la SMS, esto es, a unas dinámicas de manejo autónomo. Esto se logra encapsulando los mecanismos

11 El KPI es el indicador de rendimiento de un proceso productivo. Existen KPI para las diferentes áreas de la empresa. Sirven para señalar si los procesos están logrando los objetivos esperados y se expresan en porcentaje.

de aprendizaje automático mediante algoritmos matemáticos. Se trata de un proceso que se consigue mediante la ingeniería de producción, haciendo uso de la gestión de producción ajustada, de las TIC (en una función multidisciplinaria con la ingeniería del software) y de los algoritmos matemáticos. La integración de los subprocesos y procesos en un SMS conduce a lograr importantes niveles de KPI.

3.5. Los gemelos digitales en smart manufacturing

El contexto de producción o manufactura ha estado en las empresas desde el surgimiento de la Primera Revolución Industrial. Sin embargo, dicho concepto ha ido evolucionando de forma dinámica a través del tiempo y de la introducción de nuevos conocimientos y tecnologías. Inicialmente, en las empresas de manufactura este conocimiento ha estado marcado en los términos de planeación, organización, ejecución y control. Con el uso intensivo de las TIC, el concepto de *producción ajustada* ha empezado a tener cierto nivel de protagonismo. Este concepto introduce otros nuevos conocimientos que facilitan esencialmente la planificación de la producción, pero ante todo el fortalecimiento de la eficiencia del sistema. Lo anterior se ve reflejado en el diseño de la línea de producción.

De hecho, en el caso de las líneas de flujo de una sola pieza (en inglés “single piece flow”, SPF) buscan principalmente una distribución homogénea del tiempo de entrega de la producción (PLT), en inglés *production lead-time*. Lo anterior evita los cuellos de botella y, a su vez, el atraso de la entrega de otros trabajos diferentes que no dependen de su ubicación en el cronograma de producción (Barni et al., 2020). El balanceo de una línea de producción se torna en ocasiones complejo. No obstante, haciendo uso de nuevos conocimientos como, por ejemplo, el *heijunka-box*¹², las ventajas pueden ser transferidas a líneas de producción mixta.

¹² Heijunka es un concepto creado por Toyota. Su objetivo es lograr flujos de producción dinámicos y suavizar la producción. La llamada caja heijunka es la herramienta específica. Es utilizada para obtener los objetivos de heijunka. La caja está dividida en casilleros rectangulares, donde las columnas representan el tiempo. Las líneas del cronograma están divididas en turnos, días o semanas. El sistema trabaja con las tarjetas kanban, se disponen en la caja heijunka, con el propósito de dar una representación visual de las siguientes series de producción a realizar. Ver: https://en.wikipedia.org/wiki/Heijunka_box

Así, el uso del concepto de “producción ajustada”, mencionado en párrafos anteriores, contribuye a que el tiempo de finalización (en inglés “time to completion”, TTC) para trabajos homogéneos dependa de la cantidad de trabajo y del tiempo optimizado (Rüttimann, 2017). Cuando se trata de manejo de la calidad del producto y calidad del servicio para el cliente, algunos elementos se vuelven fundamentales para el proceso, es el caso de los costos de producción, los tiempos de entrega y los requisitos del cliente. Estos aspectos, igualmente, repercuten en el área de ventas y cumplen un rol protagónico en una empresa, específicamente, en la búsqueda del equilibrio entre los requisitos. Es más, estos requisitos se integran directamente en los llamados indicadores de rendimiento (en inglés “Key Performance Indicators”, KPI).

Con los acelerados cambios tecnológicos en el contexto global, primero de las TIC y posteriormente de la Industria 4.0, el uso de estos recursos tecnológicos está jugando un rol protagónico, en términos de calidad y de competitividad. Es así como la integración de los elementos y requisitos descritos en las tecnologías de la Industria 4.0, de la Cuarta Revolución Industrial, conducen a la fabricación inteligente, que busca integrar los procesos de fabricación, comercialización y gestión administrativa, todo esto en términos de mejoramiento de la eficiencia y la productividad. Lo que se pretende es reducir los costos en todo el sistema y disminuir los desperdicios (Moiceanu y Paraschiv, 2022). Puede concluirse que el mundo está pasando aceleradamente de los llamados procesos de fabricación de bienes, con el uso de maquinaria, equipos, herramientas tradicionales y mano de obra, hacia la fabricación digital y los procesos de fabricación inteligente (Kritzinger et al., 2018).

De hecho, la integración de los diferentes procesos de la empresa se hace viable tanto de manera horizontal como vertical a través de la tecnología digital (Moiceanu y Paraschiv, 2022). Los conceptos de sostenibilidad y el uso de activos son elementos relevantes que se utilizan para clasificar la fabricación inteligente (Moiceanu y Paraschiv, 2022). En efecto, la fabricación inteligente puede ser aplicada en múltiples empresas; sin embargo, es importante conocer con profundidad elementos como la tecnología, los factores que lo componen y las características de este tipo de sistema. A los SMS es preciso integrar permanentemente nuevos actores tecnológicos. Este es el caso de los

gemelos digitales surgidos recientemente, entre los años 2002-2010, como una nueva tecnología. La Tabla 3.1 contiene y describe esta tecnología brevemente.

Los gemelos digitales son hoy parte de los sistemas de smart manufacturing dentro del diseño de ingeniería de productos y, así mismo, parte de la Industria 4.0. Esta tecnología es atribuida a Michael Grieves, de la Universidad de Michigan, en el año 2002; fue diseñada inicialmente por la NASA y utilizada en sus procesos tecnológicos. Las primeras aplicaciones prácticas del gemelo digital se dieron allí en la NASA, en el año 2010, para mejorar la simulación de modelos físicos de naves espaciales (Negri, 2017). Es importante considerar que el diseño de los productos inicia desde el dibujo elaborado a mano o el dibujo asistido por computador, pasando por el proceso de la ingeniería de sistemas basada en modelos, hasta la integración al sistema de manufactura inteligente.

Los gemelos digitales se obtienen usando modelos de la dinámica de sistemas y estructuras de datos. Se pueden crear copias digitales de sistemas físicos (Stark y Damerou, 2019). Esto se logra mediante la sincronización del sistema virtual y el sistema físico. De hecho, el gemelo digital brinda las posibilidades de obtención del diseño, la operación y la optimización de los sistemas. En concreto, un gemelo digital es equivalente a una representación tipo digital de un producto existente (Barni et al., 2020). Las investigaciones han venido demostrando que, en los casos de pérdidas de rendimiento de las máquinas, debido a los tiempos de ciclo que tienen alta variabilidad, las bajas pueden compensarse haciendo uso de un gemelo digital.

En ingeniería de producto, el proceso de modelado y la misma simulación de sistemas de producción facilitan la predicción de la eficiencia o rendimiento del sistema para un escenario específico. Los flujos de materiales de los sistemas lineales de producción, pero igualmente de los ramificados, pueden ser modelados haciendo uso de simuladores discretos, en inglés “discrete event”, de sigla DE (Banks et al., 2005; Robinson, 2004; Cai et al., 2017). Para su implementación, es necesario disponer de una lista de eventos, igualmente, de una lista de objetos móviles (MO) y de una lista de estaciones. Los MO pueden ser representados por información o por materiales. De su parte, la lista de

estaciones representa el estado de las máquinas y de las celdas disponibles dentro del sistema modelado (Nutaro, 2011; Cheng et al., 2018). Para realizar la simulación “DE” en el contexto de los sistemas de producción el mercado ofrece varias herramientas útiles, tales como DDD-Simulator¹³, PlantSimulation (Siderska, 2016) y AnyLogic (Chidester et al., 1999; Borshchev, 2013; Barni et al., 2020).

El modelado se propone aprovechar la combinación de las herramientas Lean que puedan existir, dado que estas proporcionan la solidez y el nivel de inteligencia superior del gemelo digital. A su vez, esas herramientas Lean proveen la flexibilidad solicitada en el sistema. Así, por ejemplo, Barni et al. (2020) presentan casos específicos y evidencias concretas haciendo uso de los equipos en el lugar de trabajo de la fábrica, en donde implementaron un gemelo digital en una línea de producción, haciendo uso de un simulador “DE” que estaba sincronizado con un sistema físico de producción (Physical production system, PPS). El papel de PPS fue suministrar los datos de producción al gemelo digital instalado. A su vez, la tarea del gemelo digital fue proporcionar la información requerida al operador, para facilitarle la terminación (a tiempo) de los trabajos de producción, sobre todo de los que estaban en la cola del proceso productivo.

En síntesis, el gemelo digital es una tecnología habilitadora de simulación de modelos físicos del diseño y fabricación de productos. Esta forma parte de la Industria 4.0 y se encuentra integrada hoy a los SMS de la fabricación inteligente. Es uno de los recursos tecnológicos más sobresalientes, porque facilita el diseño y fabricación de productos, pero, a su vez, eleva los niveles de aseguramiento de los estándares de calidad de los productos recibidos por el cliente en el nuevo contexto de la Cuarta Revolución del conocimiento, la innovación, la tecnología y la industria.

3.6. Los retos de la gestión de las organizaciones en la era de la Industria 4.0

Hemos sido testigos de los enormes avances que ha traído consigo la Cuarta Revolución Industrial en la producción de bienes y servicios.

13 El simulador *domain-driven design* (DDD) o diseño guiado por el dominio, posee un software con una estructura de terminologías y prácticas para la toma de decisiones durante el proceso de diseño.

Las organizaciones se han visto obligadas a cambiar rápidamente sus esquemas de pensamiento y sus estructuras, para responder a los desafíos que impone la implementación de este tipo de tecnologías. Recordemos que las industrias han ido evolucionando, desde la Primera Revolución Industrial, que supuso la creación de las fábricas impulsadas por máquinas de vapor; en ese momento, la administración hizo sus primeras manifestaciones mediante el control de la producción. Durante la Segunda Revolución Industrial, con el crecimiento de las fábricas y el surgimiento de la producción en serie, apareció la teoría clásica de la administración; posteriormente, se dio paso al surgimiento de las teorías de la organización que, además, acompañaron también a la Tercera Revolución Industrial.

Hoy en día se aplican las teorías organizacionales, pero también han aparecido múltiples investigaciones en estudios organizacionales en la era de la Cuarta Revolución Industrial. Eso implica, por parte de los investigadores, la observación de múltiples fenómenos que deben ser vistos a partir de métodos no racionalistas, como se hacía en el pasado. Se infiere, entonces, el reconocimiento del ser humano dentro de las diferentes organizaciones, no como una pieza más de la gran máquina, tal como se concebía hace algunas décadas, sino como un actor fundamental de la organización, ya que sin su papel no sería posible que se dieran los procesos. En ese marco general surgen diferentes desafíos, en lo que se refiere a la administración, debido al gran volumen de información y de nuevo conocimiento que surge, en el que participan individuos, entendidos como ciudadanos digitales, y empresas que se encuentran soportadas en la tecnología (Barreto et al., 2019).

4. Conclusiones

Este capítulo ha expuesto cómo la literatura sobre la Industria 4.0 ha dado paso a la comprensión, en primer lugar, del rol de la Industria 4.0 dentro de la Cuarta Revolución Industrial. En segundo lugar, a la apropiación de la estructuración teórica del proceso de fabricación inteligente y al rol de la tecnología de gemelo digital dentro de smart manufacturing. Como tercer aspecto, desde la perspectiva empresarial, el capítulo puede ser visto como un aporte a las empresas para comprender, apropiarse e iniciar una aplicación de la Industria 4.0, a razón

de que su puesta en marcha y ejecución no reviste mayor complejidad. Algunas de las conclusiones más relevantes son las siguientes.

El término de Industria 4.0 se muestra aún en un proceso de construcción conceptual y de alcance. Las discusiones académicas no señalan aún un acuerdo en el rol de cada una de las tecnologías que la conforman y de su aplicación. Un aspecto similar se observa en el alcance de la industria en cada uno de los sectores productivos. Se convoca a los académicos para que sigan indagando sobre estas tecnologías y sobre los múltiples beneficios que conlleva su implementación.

La fabricación inteligente (smart manufacturing) presenta avances notables y un desarrollo estructurado, desde la perspectiva teórica. El análisis de la literatura recogida señala cómo esta tecnología se encuentra en aplicación en las empresas de los países que han profundizado sobre el tema, y lo han asumido como un reto de productividad y competitividad empresarial, como es el caso de Alemania, China y Estados Unidos, entre otros. Lo anterior demuestra las enormes ventajas que se alcanzarían a nivel empresarial, regional y nacional, si hubiese decisiones de fondo, por parte del Estado, para hacer parte de esa revolución a través del uso de estas tecnologías en todos los aspectos de la vida de nuestro país y nuestras regiones tan diversas.

El desarrollo de la fabricación inteligente está mostrando logros significativos, como la disminución de los costos de fabricación, el mejoramiento en el diseño, la fabricación y los tiempos de entrega del producto, la optimización de la calidad y una mayor relación digital y comercial con los clientes, incrementando el capital relacional de las empresas. Tal como lo confirman Ynzunza et al. (2017), para que las organizaciones alcancen niveles de mejoras sustanciales en sus procesos de manufactura será necesario el éxito en la integración de la cadena de valor, de forma tal que se logren redes de colaboración que ayuden con la creación de sistemas flexibles y reconfigurables para que puedan soportar estas nuevas formas de fabricación. Finalmente, el estudio muestra teóricamente que la Industria 4.0, en general, y la fabricación inteligente y los gemelos digitales, en específico, son los impulsores principales en la Cuarta Revolución Industrial, debido a que poseen una capacidad real para integrar el mundo físico y el digital.

Es necesario generar una revolución en la educación, tal como se ha hecho en las industrias, para que el capital humano de la era de la Industria 4.0 tenga la posibilidad de acceder a herramientas tecnológicas y lograr competencias digitales a partir del conocimiento de las nuevas necesidades del mercado y las industrias. Las organizaciones actuales requieren personas con liderazgo y autonomía en la toma de decisiones basadas en el análisis de datos y en el uso eficiente de procesos digitalizados. A su vez, la manufactura inteligente requiere de personas capacitadas y de una administración que haga frente a los nuevos retos de esta era, así como de las nuevas formas de hacer negocios, tal como lo afirman Barreto et al. (2019).

6. Referencias

- Banks, J., Carson, J., y Barry, L. (2005). *Discrete-Event System Simulation* (4ta ed.). Pearson.
- Barni, A., Pietraroia, D., Züst, S., West, S., y Stoll, O. (2020). Digital Twin Based Optimization of a Manufacturing Execution System to Handle High Degrees of Customer Specifications. *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 4(4), 109. <https://doi.org/10.3390/jmmp4040109>
- Barreto, J. A., Alemán, H. G., y García, R. V. (2019). Desafíos y Transformaciones en las Organizaciones y la Gestión Humana en el marco de la Revolución 4.0. *Gestión de las Personas y Tecnología*, 12(36), 22-32.
- Bititci, U., Suwignjo, P., y Carrie, A. S. (2021). Strategy management through quantitative modelling of performance measurement systems. *International Journal of Production Economics*, 69(1), 15-22. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00113-9)
- Borshchev, A. (2013). *The Big Book of Simulation Modeling: Multithread Modeling with AnyLogic* 6. AnyLogic. <https://doi.org/10.1002/9781118762745.ch12>

- Cai, Y., Starly, B., Cohen, P., y Lee, Y.-S. (2017). Sensor data and information fusion to construct digital-twins virtual machine tools for cyberphysical manufacturing. *Procedia Manufacturing*, (10), 1031-1042. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.094>
- Cinar, Z. M., Nuhu, A. A., Zeeshan, Q., y Korhan, O. (2019). Digital twins for Industry 4.0: a review. En *Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas* (pp. 193-203). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42416-9_18
- Cheng, Y., Zhang, Y., Ji, P., Xu, W., Zhou, Z., y Tao, F., (2018). Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1), 1209-1221. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2001-2>
- Chidester, A., Hinch, J., Mercer, T. C., y Schultz, K. (1999). Recording automotive crash event data. En: *Transportation Recording: 2000 and beyond*. International Symposium on Transportation Recorders.
- Feeney, A., Frechette, S., y Srinivasan, V. (2015). A portrait of an ISO STEP tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 15(2). <https://doi.org/10.1115/1.4029050>
- Garetti, M., Rosa, P., y Terzi, S. (2012). Life Cycle Simulation for the design of Product–Service Systems. *Computers in Industry*, 63(4), 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.02.007>
- Helu, M., Libes, D., Lubell, J., Lyons, K., y Morris, K. C. (2016). Enabling smart manufacturing technologies for decision-making support. *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 50084). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2016-59721>
- Kang, H., Lee, J., Choi, S., Kim, H., Park, J., Son, J., Kim, B. y Noh, S. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 3(1), 111-128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>

- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., y Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Lu, Y., Liu, C., Kevin, I., Wang, K., Huang, H., y Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (61), e101837. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>
- McKay, K. N., y Wiers, V. C. (1999). Unifying the theory and practice of production scheduling. *Journal of Manufacturing Systems*, 18(4), 241-255. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(00\)86628-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(00)86628-5)
- Moiceanu, G., y Paraschiv, G. (2022). Digital Twin and Smart Manufacturing in Industries: A Bibliometric Analysis with a Focus on Industry 4.0. *Sensors*, 22(4), e1388. <https://doi.org/10.3390/s22041388>
- Negri, E. (2017). Una revisión de los roles de Digital Twin en sistemas de producción basados en CPS. *Fabricación de Procedia*, (11), 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Nutaro, J. (2011). *Building software for simulation: theory and algorithms, with applications in C++*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470877999>
- Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling* (Vol. 29). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2361-4>
- Qi, Q., y Tao, F. (2018). Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *Lee Access*, (6), 3585-3593. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- Qu, Y. J., Ming, X. G., Liu, Z. W., Zhang, X. Y., y Hou, Z. T. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9), 3751-3768. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03754-7>

- Quiroga-Parra, D., Torrent, J., De Lllano, J., Pinedo J., Montoya, C, Hernández, B., Caicedo, D., Gómez, C., Hernández, E., y Arturo, E. (2022). *Las nuevas fuentes de productividad: perspectiva América Latina*. Fondo Editorial - Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. <https://doi.org/10.16925/9789587603583>
- Quiroga-Parra, D., Torrent-Sellens, J., y Murcia-Zorrilla, C. (2017a). Uses of ICT in Latin America: a characterization. *Revista chilena de ingeniería*, 25(2), 289-305. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000200289>
- Quiroga-Parra, D., Torrent-Sellens, J., y Murcia-Zorrilla, C. (2017b). Las tecnologías de la información en América Latina, su incidencia en la productividad: un análisis comparado con países desarrollados. *Dyna*, 84(200), 281-290. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.60632>
- Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. John Wiley & Sons.
- Rocha-Jácome, C., Carvajal, R.G., Chavero, F.M., Guevara-Cabezas, E., y Hidalgo Fort, E. (2022). Industry 4.0: A Proposal of Paradigm Organization Schemes from a Systematic Literature Review. *Sensors*, 22(1), 66. <https://doi.org/10.3390/s22010066>
- Rüttimann, B. G. (2017). *Lean Compendium Introduction to Modern Manufacturing Theory*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58601-4_1
- Rupp, M., Schneckenburger, M., Merkel, M., Börret, R., y Harrison, D. K. (2021). Industry 4.0: A Technological-Oriented Definition Based on Bibliometric Analysis and Literature Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 68. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010068>
- Serrano, J., Mula, J., y Poler, R., (2021). Smart Digital Twin for ZDM-based job-shop scheduling. *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*, 510-515. <http://dx.doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT51437.2021.9488473>

- Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., y Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, 66(1), 141-144. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.040>
- Siderska, J. (2016). Application of Tecnomatix Plant Simulation for Modeling Production and Logistics Processes. *Business, Management and Economics Engineering*, 14(1), 64-73. <https://doi.org/10.3846/bme.2016.316>
- Smart Manufacturing Leadership Coalition. (2011, June). Implementing 21st century smart manufacturing. En *Workshop Summary Report* (pp. 1-36). Smart Manufacturing Leadership Coalition.
- Stark, R., y Damerou, T. (2019). *Digital Twin*. En S. Chatti y T. Tolio (Eds.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1
- Tao, F., Anwer, N., Liu, A., Wang, L., Nee, A. Y., Li, L., y Zhang, M. (2021). Digital twin towards smart manufacturing and industry 4.0. *Journal of manufacturing systems*, (58), 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.005>
- Wilding, R. (1998). The supply chain complexity triangle: Uncertainty generation in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(8), 599-616. <https://doi.org/10.1108/09600039810247524>
- World Economic Forum - WEF. (2015). *The Global Competitiveness Report (2015-2016)*. WEF. https://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016
- Ynzunza, C., Izar, J., Bocarando, J., Aguilar, F., y Larios, M. (2017). El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica*, (54).
- Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., y Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150. <https://doi.org/10.1520/SSMS20180036>

El impacto del *machine learning* en el modelo de negocios del *vending machine* en Colombia. Un cambio en la interacción máquina dispensadora-cliente

Rafael Jaime Carmona López¹⁴

Jesús María Gutiérrez Montes¹⁵

Patricia Alejandra Pérez Crignola¹⁶

Fabiola Argandoña Gómez¹⁷

Resumen

La presente investigación tiene como objeto recolectar y analizar datos acerca del *machine learning* como herramienta de transformación del modelo de negocios del *vending machine*. En la actualidad se evidencia cómo la aplicación de la inteligencia artificial y las nuevas

14 PhD en Ciencias de la Administración de la Universidad de Santiago de Chile. Coordinador del área de Mercadeo de la Escuela de Economía Administración y Negocios de la Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: rafael.carmona@upb.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2171-4542>

15 Magíster en Administración de Empresas de la Universidad Pontificia Bolivariana. Docente de la Escuela Colombiana de Mercadotecnia de la misma universidad. Correo electrónico: jes-us.gutierrez@upb.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2080-7832>

16 Magíster en Administración y Dirección de Empresas de la Universidad Santiago de Chile. Directora de la Escuela y Contadora Auditora de la Universidad Diego Portales. Correo electrónico: patricia.perez@udp.cl ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4668-929X>

17 PhD en Ciencias de la Administración de la Universidad de Santiago de Chile. Profesora de la Universidad de Santiago de Chile. Correo electrónico: fabiola.argandona@usach.cl ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0137-3186>

tecnologías facilita el proceso de compra para un consumidor, permitiendo que la integración de dispositivos genere nuevas interacciones presentadas tradicionalmente como máquina-cliente. La articulación de estas tendencias de la Cuarta Revolución Industrial demuestra una nueva dinámica comportamental entre los consumidores y las máquinas dispensadoras, un mercado actualmente creciente en Colombia. La metodología empleada en el estudio se basa en el análisis bibliográfico cualitativo de las últimas publicaciones realizadas (las que consideramos más importantes) en torno a la aplicación de las diversas técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) como catalizador que influye en el comportamiento del consumidor de alimentos provisto por máquinas *vending* en Colombia. Seguidamente se presente una discusión acerca de los resultados más relevantes en el tema; complementada por las conclusiones, que exponen elementos clave de la revisión de literatura realizada en la investigación.

1. Introducción

La interacción de las personas se presenta siempre en entornos muy dinámicos, donde se están transformando continuamente las necesidades de cada consumidor, además de sus deseos y comportamientos. Estos cambios usualmente se generan debido a la constante búsqueda de la satisfacción por parte de los clientes o usuarios de una forma óptima (Peter y Olson, 2006). Se debe entender que estos cambios responden a las tendencias actuales del mercado, entre las cuales se destacan cuatro factores que marcan un hito en los hábitos de consumo y son provocados por la revolución digital. Estos son: primero, el volumen en el que se producen y analizan los datos, es un proceso automatizado por el uso de sensores; como segundo se puede considerar el apoyo de la digitalización en los modelos de negocio actuales y la instauración de un flujo continuo de información (Management Solution, 2018). Combinada con el uso de algoritmos, esa información facilita la creación de modelos y métodos de negocios y operación más eficientes (Marsland, 2011), ese es el tercer factor. Finalmente, la aplicación y uso de algoritmos se convierte en una práctica que facilita la realización de predicciones o sugerencias, garantizando que los productos requeridos por el cliente estén disponibles y en las condiciones que lo desee (Alpaydin, 2020).

De acuerdo con lo anterior, el presente proyecto analizó cómo la Cuarta Revolución Industrial, que genera una serie de innovaciones y cambios, fomenta el uso de la inteligencia artificial y, más específicamente, cómo esta última describe entre sus funciones principales la aplicación del *machine learning*, que Dan Fagella (CEO y fundador de Emerj Artificial Intelligence Research), explica como:

La ciencia que permite que las máquinas y computadoras se eduquen y a la vez se comporten como personas, aumentando su formación con el tiempo de manera independiente, brindándoles datos e información en forma de retroalimentación e interacciones con la realidad. (Fagella, 2020)

En este sentido, se debe considerar que el interés por el uso de datos y algoritmos para programar las máquinas empezó a mediados de 1950, junto a conceptos de inteligencia artificial, donde se utilizó el paradigma de la inteligencia humana (Russo et al., 2016). Desde entonces, la diversidad de métodos que caracteriza a la investigación permitió que las posturas teóricas evolucionaran hacia mecanismos cognitivos, de percepción y acción que funcionan en las máquinas como fundamento del *machine learning* o aprendizaje automatizado (Langley, 1996). Básicamente, la matriz que analiza los datos funciona como un túnel, por el que primero pasan unos datos de entrada, que son descompuestos en formatos adaptados a los algoritmos usados en el sistema, para entregar posteriormente una información de salida como respuesta (Guyon, 2008). Al conjunto de las variables programadas se les considera influenciadas por las tendencias de la revolución digital (Schwab, 2016b).

Luego de realizar el análisis del *machine learning*, que se transforma en el término principal de operatividad y desarrollo, y que a su vez cambia la estructura tradicional en el funcionamiento de las máquinas dispensadoras, se describe el desarrollo del *vending machine*, que, de acuerdo con Matute y Uday (2013):

Representa una máquina expendedora capaz de ofrecer a los consumidores un producto específico. La principal ventaja de una máquina vendedora es la autonomía de las personas al realizar la transacción de compra y venta, un cierto grado de independencia, ya que solo necesita agregar dinero al producto ofrecido a la venta y retirar el dinero recaudado durante el proceso de venta.

En los últimos años se ha identificado un crecimiento potencial en el sector del *vending machine*. Se considera que las ventas realizadas mediante máquinas expendedoras de productos como gaseosas, snacks y cafés ha ido creciendo dentro de empresas e instituciones, brindando así un servicio adicional a los clientes. Al respecto, este modelo de negocios ha sido acogido como una línea rentable que permite incursionar en la expensa de diferentes productos (Celle et al., 2019). Debido a lo anterior, es importante evidenciar las distintas transformaciones generadas por el *machine learning*, cuyos cambios de operatividad influyen en el comportamiento de los clientes, sobre todo debido a la introducción de nuevas variables a la dinámica de relacionamiento. Esto indica que el crecimiento vertiginoso del mercado del *vending machine* y la prisa del consumidor por encontrar una solución ágil a sus necesidades, es lo que vincula el potencial transformador del *machine learning* con los requerimientos, deseos y expectativas que se generan en las personas por su continua interacción y cooperación en las distintas escalas tecnológicas, fomentadas por la Cuarta Revolución Industrial (Molnar, 2019).

2. Diseño metodológico

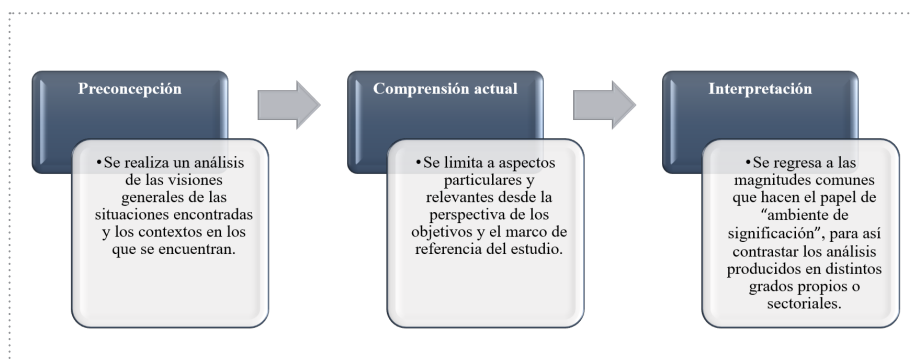
Para la investigación se desarrolla una búsqueda de la literatura científica existente sobre el tema. En ese proceso, se identifican los términos fundamentales para el análisis de la aplicación de la tecnología de aprendizaje automatizado (*machine learning*) como catalizador influyente en el comportamiento del consumidor de alimentos provistos por máquinas dispensadoras. Todo lo anterior permite que sea pertinente plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál puede ser el impacto del *machine learning* en el modelo de negocios actual de las máquinas expendedoras en Colombia?

Este estudio tiene un enfoque cualitativo que procura explicar de una forma metódica las propiedades de variables y fenómenos para crear y mejorar categorías conceptuales, explorar y examinar relaciones entre fenómenos o comparar estructuras y postulados que surgen en diferentes contextos (Quecedo y Castaño, 2002, p. 12). En consecuencia, la revisión sistemática de literatura facilita la descripción del campo de estudio, definiendo la interacción de los consumidores

frente a las tendencias tecnológicas y digitales que cambian la estructura comportamental. En efecto, es prudente identificar tres componentes que configuran el proceso de comprensión de la investigación y guían a los lectores en la interpretación de la información recopilada (ver Figura 4.1).

Figura 4.1

Componentes de comprensión en el proceso de investigación



Nota. Elaboración propia a partir de Quecedo y Castaño (2002).

La recolección de datos descriptivos y de análisis es el eje central de la investigación. Allí se genera un acercamiento científico a una problemática que no ha sido abordada como merece. Es el caso del aprendizaje automatizado y su efecto en las diferentes conductas del consumidor. Desde el punto de vista de la indagación de información, el presente trabajo se soporta principalmente en documentos que han tenido un alto impacto en el mundo científico en los últimos años y que están directamente relacionados con el *machine learning* y el comportamiento del consumidor. Para ello, fue prudente usar filtros de búsqueda en bases de datos como Science Direct, Google Académico y Scopus, donde se aplican diferentes ecuaciones de búsqueda formadas con palabras relevantes para la investigación, como "machine learning", "comportamiento del consumidor", "impacto en el consumidor", entre otras palabras claves. Se generan dos ecuaciones de búsqueda efectivas, que fueron: "Machine learning AND consumer behavior" y "Machine learning AND impact in consumer behavior".

Los términos de búsqueda (keywords) seleccionados fueron los siguientes:

Revolución digital	Inteligencia artificial	Machine learning
Comportamiento del consumidor	Vending machine	Cuarta Revolución Industrial

Se debe aclarar que se procuró obtener información de las últimas publicaciones realizadas; sin embargo, existen conceptos que no pierden vigor y funcionan como estructura central para los temas definidos en las tendencias actuales. También se debe considerar que la aplicación de los conceptos *vending machine* y comportamientos del consumidor tiene muchas variantes y usos. Este trabajo se centra en acotar la relación entre las disciplinas y explicar la importancia que generan las tendencias digitales aportadas por la disciplina de la *machine learning*.

Tabla 4.1

Top de publicaciones relevantes para los términos “machine learning” y “comportamiento del consumidor”

Título	Autor	Año	Citaciones
Comportamiento del consumidor: enfoque América Latina	Arellano Cueva	2002	92
Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación	Escolano et al.	2003	77
Comportamiento del consumidor	Schiffman y Kanuk	2005	3783
Pattern recognition and machine learning	Bishop	2006	39870
Comportamiento del consumidor	Solomon	2008	1111
La era digital: nuevos medios, nuevos usuarios y profesionales	Jódar Marín	2010	162
Industria de máquinas dispensadoras automáticas como canal de distribución de jugos naturales	Garro Betancur	2015	N/A

Título	Autor	Año	Citaciones
Machine learning: Trends, perspectives, and prospects	Jordan Mitchell	2015	1317
La revolución digital	Molero Ayala	2015	N/A
Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques	Witten, Frank, Hall, y Pal	2016	37665
Integración del internet de las cosas en los procesos logísticos de máquinas dispensadoras	Ramírez	2018	N/A
Introduction to Machine Learning	Ethem Alpaydin	2020	7174

Nota. Elaboración propia a partir de Google Académico y Science Direct.

3. Resultados y discusión

A continuación, se expondrán los productos de la búsqueda de los materiales que fundamentan el aprendizaje automatizado y su impacto en el comportamiento del consumidor. Serán integrados en una discusión basada, principalmente, en la interpretación que los autores dan a los resultados. Como primero, se tienen la búsqueda e interpretación de la Cuarta Revolución y sus tendencias, como el aprendizaje automatizado y la inteligencia artificial; en el segundo punto se habla de la influencia que el *machine learning* ha ejercido en el sector del *vending machine*; finalmente, se analiza su impacto en el comportamiento del consumidor.

3.1. La Cuarta Revolución Industrial, la IA y el aprendizaje automatizado

Cuando se habla del aprendizaje automatizado se alude al descubrimiento automático de patrones de datos. En décadas recientes, este se ha convertido en un instrumento muy común, ya que sirve de ayuda efectiva para cualquier tarea que requiera extraer cierta información de un conjunto extenso de datos, de cierto tipo, donde se incorporan algoritmos de procesamiento. La investigación y el desarrollo actuales sobre esta tecnología son visibles en los motores de búsqueda que aprenden a proporcionar los mejores resultados (mediante la promoción de anuncios rentables), y en el aprendizaje del software *antispam*

para filtrar la información de los mensajes o para detectar el fraude (Shalev-Shwartz y Ben-David, 2014). Estos usos ejemplifican el inesperado crecimiento que se ha podido conseguir gracias a los cambios significativos en el ámbito informático, teniendo en cuenta la cantidad considerable de información alojada en la red con formato lingüístico; además, se ha evidenciado un crecimiento en las capacidades computacionales, el desarrollo de nuevos y cada vez más efectivos sistemas de aprendizaje automatizado, además de un mayor entendimiento del lenguaje humano, su estructura y su aplicación en los distintos contextos sociales que se puedan producir (García-Gutiérrez, 2016).

Klaus Schwab, fundador del World Economic Forum (WEF) y autor de la obra *La Cuarta Revolución Industrial*, afirma que una característica fundamental de una revolución industrial es que surge de las nuevas tecnologías que se desarrollan y de las diversas visiones del mundo en que vivimos, ya que provocan grandes cambios en la economía y la estructura social. En efecto, es importante comprender el alto nivel de complejidad y riesgos a los que se encuentran expuestas las personas en la actualidad. A eso se añade que la flexibilidad es un factor clave para adaptarse a los nuevos órdenes, tanto sociales como políticos, económicos, laborales, ambientales y éticos, entre otros:

Estamos viviendo grandes alteraciones en las industrias, los cuales son evidentes por el surgimiento de novedosos modelos económicos, el surgimiento de operadores y la reforma de sistemas de producción, consumo, traslado y venta. En el contexto social, se está produciendo un cambio de paradigma en la forma en que trabajamos y nos comunicamos, así como en la forma en que nos presentamos, aprendemos y disfrutamos. Asimismo, los gobiernos y los sistemas de educación, salud, transporte, etc. Las instituciones también se desarrollan. Las nuevas formas de usar la tecnología para cambiar nuestras prácticas, sistemas y operaciones también nos permiten apoyar los esfuerzos para mejorar y proteger el medio ambiente en lugar de dinero oculto en forma de externalidades. (Schwab, 2016a, p. 8)

De lo anterior, se puede afirmar que la Cuarta Revolución Industrial “es una forma de describir la serie de cambios que se están produciendo y otros cambios que se espera que ocurran en nuestra economía, sociedad y forma de vida” (McAfee y Brynjolfsson, 2017), que se caracteriza por el surgimiento de diez tecnologías que impulsan la transformación

afectando las expectativas empresariales y de los consumidores, es decir, “la convergencia de tecnologías resultante de la llamada revolución digital es un conjunto de tecnologías, su aplicación abrirá muchas posibilidades” (Jódar, 2010). De estas posibilidades se destacan dos tipos: tecnologías que afectan el mundo físico, tales como tecnologías biológicas, robótica, impresión 3D, materiales innovadores, internet de las cosas (IoT), transmisión, almacenamiento y captura de energía; en segundo lugar, se encuentran aquellas tecnologías que cambian el mundo digital, como la inteligencia artificial (IA), la cadena de bloques, las nuevas tecnologías informáticas y la realidad virtual y aumentada.

Es claro que la velocidad de desarrollo y el alcance que tienen las distintas tecnologías enmarcan a la Cuarta Revolución en una transformación continua de los sistemas completos de gestión, producción y gobierno (Cortés, 2016). Esta revolución industrial se relaciona con distintas variantes que se interconectan para el desarrollo y permiten alcanzar nuevos niveles de optimización y producción; supone que los clientes disfrutarán de la disponibilidad de un nivel más amplio de productos personalizados. En este campo se destaca la inteligencia artificial (IA). Según el pionero Marvin Minsky, “la ciencia de la ingeniería requiere habilidad para hacer cosas hechas por el hombre. Podemos pensar en la inteligencia artificial como una ciencia que integra información en procesos o eventos para procesarla” (Alfonso et al., 2004). La tecnología se ha diversificado inmensamente hasta llegar a un nivel que permite un mayor reconocimiento de patrones en agrupaciones de datos grandes (del Val Román, 2016). Es en este punto donde se resalta la aparición del concepto de *machine learning*, traducido al español como aprendizaje automático o de máquina. Este se origina en los sesenta, presentado como una subdisciplina de la inteligencia artificial y como un producto de la mezcla de las ciencias de la informática y la neurociencia, que implican el uso de algoritmos y aprendizaje guiado para la programación de los equipos tecnológicos, ampliando su capacidad de respuesta y sus funciones (Kibria et al., 2018).

Los procesos de aprendizaje automatizado, al estar fundamentados en el paradigma de la inteligencia humana, se apoyan en el entrenamiento y el reconocimiento. Se busca practicar las técnicas de registro a partir de sucesivas repeticiones de la acción hasta que la máquina pueda reconocer y dar una respuesta apropiada. En este tipo de modelos se

evalúa la factibilidad, flexibilidad y potencial de uso de cada técnica. Es importante notar que este enfoque ha sido implementado en prototipos que facilitan el agregado de técnicas de *machine learning*, y que cuentan con capacidades de procesamiento soportadas en la metodología para construir modelos (Ibáñez et al., 2014). En consecuencia, se debe considerar que dicha metodología tiene cuatro procesos, el preprocesamiento, el aprendizaje, la evaluación y la generación de una predicción. Se debe entender que la información solo puede ser aplicada si pasa primero por un preprocesamiento que filtra los datos para armonizarlos bajo una única escala. Se espera que esta permita optimizar la estandarización. Los algoritmos utilizados tienen la capacidad de proporcionar datos de entrenamiento para modelar los parámetros de acuerdo con necesidades específicas. Para esto es necesario seleccionar una métrica que permita medir la efectividad de cada grupo de datos para, así, definir la capacidad que tiene el modelo de generar predicciones usando los nuevos datos proporcionados, esto es conocido como generalización, y está establecido de acuerdo con ciertos hiperparámetros o parámetros internos (Dunjko y Briegel, 2018). Posteriormente, se realiza una validación en cruz con la cual se establecen los cambios pertinentes en las métricas. El objetivo es optimizar los hiperparámetros; es lo que se conoce como algoritmos de aprendizaje. Luego se experimenta en laboratorios con los modelos finales. Allí se generan nuevos datos que, finalmente, permiten la realización de la predicción (Roman, 2019). Existen diferentes algoritmos usados por el *machine learning*. Podemos enlistar los siguientes:

- » Aprendizaje supervisado: parte de un conocimiento *a priori*, es decir, se entrena con un conjunto de ejemplos. Su objetivo es deducir una función que efectúe el mejor mapeo entre entradas y salidas mediante datos de entrenamiento dados. Los datos de entrenamiento constan de tuplas $(X, X) (Y, Y)$, donde XX son las variables conocidas que pronostican una determinada salida YY . En estos casos, el algoritmo encuentra similitudes en los datos, aprende de las observaciones y, finalmente, realiza predicciones (Bottou et al., 2018). El operador debe realizar correcciones cada vez que el algoritmo pronostique. Este proceso se debe realizar hasta que el algoritmo alcance su máximo nivel de precisión y productividad (Luna, 2018). El modelo tiene dos subcategorías:

- Clasificación: es la distribución de datos de acuerdo con el reconocimiento de caracteres. Un claro ejemplo es la clasificación binaria. Si un email es spam, toma el valor de “1”; si no, tendrá valor de “0”.
 - Regresión: para este caso se le proporciona al algoritmo un conjunto de datos conocidos con los cuales deberá encontrar la mejor forma de determinar cómo llegar a las entradas y salidas mostradas.
- » Aprendizaje no supervisado: son aquellos algoritmos que no cuentan con un conocimiento previo. Se trata de datos sin reconocimiento previo y sin etiqueta; en este caso, el objetivo es encontrar patrones que permitan la organización de la estructura y la exploración de datos (Roman, 2019). Aplicado al campo del marketing, el aprendizaje se puede utilizar para encontrar patrones de datos masivos procedentes de distintas redes sociales para crear campañas publicitarias altamente segmentadas. Este se clasifica en dos categorías principales:
- Agrupamiento o clustering: es una técnica exploratoria que permite organizar la información en grupos que tengan algún significado; lo hace sin conocer anteriormente su estructura. Su objeto es conseguir un conjunto con características semejantes. La aplicación de estos algoritmos puede ser muy útil para establecer clases de consumidores según sus hábitos de compra, permitiendo así realizar técnicas de mercadeo efectivas y personalizadas.
 - Reducción dimensional: esta categoría se ejecuta encontrando correlaciones entre las características y eliminando información redundante que genera ruido en el análisis de datos, a la vez que comprime la información en subespacios reducidos y retiene los datos valiosos.
- » Aprendizaje reforzado: su objetivo es que un algoritmo aprenda a partir de su interacción con el entorno, que tenga la capacidad de tomar la mejor decisión enfrentándose a diferentes situaciones en un proceso de prueba y error. Cuando el algoritmo toma la decisión acertada se le recompensa (Lussier et al., 2020). Actualmente, este aprendizaje permite avances tales como el reconocimiento facial, los diagnósticos médicos y la clasificación de secuencias de ADN.

- » Aprendizaje profundo: conocido también como deep learning. Se caracteriza por emplear una estructura jerárquica de redes neuronales artificiales, similares a las estructuras neuronales que componen el cerebro humano. Este tiene nodos de neuronas que se conectan entre sí para proporcionar la suficiente cantidad de datos necesarios, logrando así que las neuronas reconozcan patrones y puedan clasificarlos y categorizarlos. Esta arquitectura permite al algoritmo trabajar de forma no lineal, es decir, con datos no etiquetados, analizando patrones de comportamiento y ocurrencia (Panch et al., 2018).

Una vez que se entiende al *machine learning* como una subdivisión de la IA, y a esta como a una de las tendencias marcadas por la Cuarta Revolución Industrial, se evidencia que el área de aplicación y relacionamiento en el que se encuentra el *machine learning* tiene una incidencia directa en el comportamiento del consumidor (Slotnisky, 2016). Esta última relación será analizada bajo la interacción que se desarrolla en el sector del *vending machine*, donde las máquinas dispensadoras son modificadas para generar niveles más altos de satisfacción entre los clientes. Por lo tanto, se debe tener en consideración que los canales de comercialización se han reinventado, surgiendo así canales alternativos, que sirven de complemento y fortaleza para los tradicionales. Todo esto debe ser pensado a la hora de definir el canal de ventas, ya que, como estos, los comportamientos de los consumidores también han evolucionado (Cardona y Vargas, 2014).

3.2. El expendedor automático, un sector influenciado por el *machine learning*

Se cree que la primera máquina de *vending*, es decir, expendedora de alimentos, fue creada y desarrollada por Herón de Alejandría en el año 65 d.C. solo para distribuir agua bendita en los templos de las antiguas ciudades de Egipto (ver ilustración 4.1.). Más adelante, durante la Revolución Industrial (1880), en Londres, se empezaron a utilizar los primeros artefactos modernos para vender postales y libros (Pati, 2019). Posteriormente, en 1888, estas máquinas fueron trasladadas a Estados Unidos y utilizadas en Nueva York para la distribución de chicles; rápidamente, las máquinas expendedoras fueron adaptadas para entregar una enorme variedad de productos (Holdych et al., 2016).

Figura 4.2

La evolución del *vending machine*



Nota. Elaboración propia con base en resultados obtenidos de Google Imágenes. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Primera máquina, año 65 a. C.; Londres, 1880; Estados Unidos, 1888; Londres, 2018.

Como modelo de negocio que permite obtener ingresos al vender productos por medio de una máquina expendedora que tiene la capacidad de recibir el dinero del costo del producto para poder entregárselo al cliente (Martínez, 2015), el *vending* está presentando un cambio en la estructura y funcionalidad de las máquinas. Esto se debe a que las empresas están invirtiendo mayores esfuerzos, en su implementación y gestión:

Vivimos tiempos complejos y la Cuarta Revolución Industrial incluirá variaciones sistémicas que requerirán de la colaboración y nos obligarán a inventar nuevas formas de colaborar en el ámbito público y privado. El ritmo del cambio no se detendrá, se acelerará, por lo que se necesita transparencia para todas las partes interesadas para que puedan sopesar los riesgos y beneficios de cada nuevo desarrollo. (Schwab, 2016a)

En este punto, se debe señalar que, gracias a las innovaciones producidas por la Cuarta Revolución Industrial, se ha desarrollado una fuerte tendencia por automatizar los procesos de venta. Se evidencian grandes beneficios. Gómez y Ocampo describen algunos de ellos:

Los costos de operación son menores a los costos que tiene que soportar el establecimiento, tales como operaciones y compra o alquiler de activos físicos, y en ese sentido reporta más utilidades al negocio. Además, otro factor importante en el progreso de este canal de negociación automatizado es que las máquinas de negociación funcionan las 24 horas del día, los 365 días del año y el costo de probarlas es bajo en comparación con otros métodos. (2017)

El impacto de los desarrollos de la inteligencia artificial en el entorno industrial se ha estudiado antes desde la perspectiva de los sistemas ciberfísicos y de la Industria 4.0; allí se han revisado sus principales áreas de uso y, en particular, se ha discutido su implementación en el apoyo de cadenas de suministro y máquinas expendedoras automatizadas. Se encuentra que una de las principales áreas de aplicación del *machine learning* radica en las mejoras físicas y de programación, que cumplen requisitos que van desde los gustos de los clientes hasta el suministro de productos básicos (Ramírez, 2018). El desarrollo tecnológico que ha tenido la implementación del *vending machine*, por los avances de la revolución digital, son evidenciados en las ventas de 95,5 millones de productos alimenticios y bebidas a través de ventas diarias. Otro ejemplo es el hecho de que el sector de bebidas calientes en Europa represente, a través de *vending*, el 79 % de las ventas en el segmento. Ahora hay una máquina expendedora por cada 180 europeos, diez menos que en 2017. La diferencia entre países es enorme; en Holanda por cada 60 personas existe una máquina, pero en Turquía por cada 1865 personas se cuenta con una máquina expendedora, la mayoría están ubicadas en lugares de trabajo (HostelVending, 2019a).

Según los datos expuestos por la firma INSSA, empresa con más de treinta años de experiencia en la industria del *vending*, en Colombia se evidencia que el mercado de las máquinas expendedoras está en crecimiento. En el año 2016 alcanzó un crecimiento cercano al 30 %. Sin embargo, incluso teniendo estos niveles de desarrollo, a comparación de los mercados de Europa y Estados Unidos, su uso es muy pequeño. Según el último informe de la European Vending Association (EVA), el crecimiento de los ingresos fue del 3,9 %. El volumen de envíos de las empresas superó los 16.400 millones de euros; además, la cantidad de expendedoras también aumentó un 1,5 %, llegando a 4,12 millones de unidades. Estos datos también afirman que el mercado está en auge en diecinueve países, pero teniendo en cuenta que fueron estudiados veintidós (HostelVending, 2019b). Al respecto, se podría considerar que menos del 30 % de las necesidades locales son cubiertas por las máquinas expendedoras.

El mismo informe de la compañía INSSA muestra cálculos que exhiben que en Colombia existen 12.000 *vending machines*. Eso indica que hay una por cada 3.900 residentes (Revista Dinero, 2016). Estadísticas proporcionadas por Autosnack muestran cómo la ciudad de Bogotá es la que más propone el consumo por ese medio (con el 60 %), seguida por Cali (con el 25 %), Medellín (10 %) y Barranquilla (5 %) (Portafolio, 2009).

Hay que mencionar que a nivel mundial la industria de las máquinas expendedoras representa una gran oportunidad, con hasta 31.6 millones de máquinas en funcionamiento, se proyecta un tamaño de mercado de más de 30 mil millones de dólares para 2025. (Visionet Systems, 2019). Es claro que la aplicación del aprendizaje automatizado para programar los datos de las máquinas dispensadoras facilita los procesos de abastecimiento y compra, entre otros (Ramprasad et al., 2017). Puntualmente, se puede usar la información que recolecta la máquina para determinar las siguientes variables:

- » El mejor surtido de productos, debido a que los algoritmos utilizados facilitan la realización de un pronóstico de demanda, en el cual se consideran las preferencias de los clientes, según la hora del día, el día de la semana, incluso el clima (Bravo, 2019).

- » Las series temporales, ya que permiten identificar ciclos anuales, mensuales o semanales de demanda creciente y decreciente para cada producto.
- » La optimización del programa de reabastecimiento de acuerdo con el comportamiento de los clientes. Al respecto, es importante considerar que la máquina tiene un público objetivo diferente dependiendo de su ubicación; esto es efecto de los estilos de vida y consumo que, a grandes rasgos, pueden tener características en común, pero son heterogéneos entre sí. Este programa busca optimizar las ventas contra los costos de reabastecimiento porque dependiendo de la máquina la existencia de productos debe reponerse en diferentes periodos.
- » El stock. Este puede variar de un envío a otro, pero con los datos analizados por un software de planificación se puede determinar cuánto producto cargar y la mejor ruta para los repartidores, según la red de máquinas dispensadoras con las que se trabaje.
- » El horario óptimo para realizar el reabastecimiento reconociendo un tiempo de baja demanda para minimizar pérdidas durante la inactividad.
- » Las ventas en red de cada máquina expendedora. Posiblemente algunas personas tengan preferencia por ciertos productos de alguna fila o columna. Para esto se puede ajustar el plan o gramo de cada máquina y posicionar los artículos competitivos o complementarios de forma que tengan mejor visibilidad. Esto puede influenciar la toma de decisiones de un consumidor, ya sea en términos positivos o negativos.
- » Los cambios que influyen en las personas para gastar más. Suelen demasiado sutiles para ser identificados sin ayuda; no obstante, el *machine learning* puede guiar la oferta general de productos por medio de técnicas como el filtrado colaborativo, que proporciona recomendaciones de productos similares.
- » Los medios de pago. Algunas de las máquinas dispensadoras actuales permiten a los usuarios pagar utilizando su teléfono celular. Esto proporciona métodos de pago más convenientes, debido a que permite enviar a los usuarios recomendaciones personalizadas de productos y ofertas especiales. El análisis de la cesta de compra permite determinar las preferencias únicas y generar sugerencias relevantes. Además, el uso de mensajes dirigidos a los clientes crea un canal de publicidad de gran alcance para mensajes personalizados.

3.3. Impacto en el comportamiento del consumidor

Como se ha mencionado antes, en la actualidad existe una fuerte necesidad de automatizar cada proceso de compra/venta de productos mediante las máquinas expendedoras. Gracias a los cambios proporcionados por la inteligencia artificial, aquellas máquinas permiten presentar de forma más cómoda y directa los productos preferidos por los clientes, no solo refrigerios y comida. A pesar de que ahora se comercia con una variedad de alimentos como el caviar (por ejemplo, Beverly Hills Caviar), este tipo de máquina también puede ofrecer joyería, alta costura (es el caso de Hon Group) e incluso lingotes de oro (como en TG-Gold-Super-Market). Se puede deducir que la oferta de productos se basa en las necesidades y deseos de los clientes (Dubois y Celma, 1998). Esto se complementa con el hecho de que los cambios que la sociedad ha experimentado (por la Cuarta Revolución Industrial) impactan directamente en las condiciones de los mercados, en su oferta y en los comportamientos y expectativas de los consumidores.

Schwab describe a la ciencia del comportamiento como un gran instrumento que puede usarse para:

Tomar decisiones responsables y mejorar la calidad de vida, que juega un papel importante para allanar el camino de la sociedad frente a un cambio dramático, ya sea que ayude a las personas a mejorar sus hábitos alimenticios, aumente los ahorros para la jubilación, ayude a las empresas a desarrollar el espíritu de equipo o ayude al gobierno a incentivar el pago de impuestos, acompañando a la Cuarta Revolución Industrial. (2016a)

Es clara la influencia que tiene el elemento tecnológico en la determinación de un modelo de negocios, especialmente en una industria como el *vending machine*, donde se pueden ampliar y sustituir los servicios tradicionales con el uso de algoritmos que interpretan y generan datos que facilitan los procesos productivos. En ese contexto, se debe considerar que:

Los consumidores modernos viven sobre la marcha y experimentan presiones de tiempo, por lo que priorizan la alta velocidad, la comodidad, la conveniencia y, en general, cualquier cosa que pueda alterar

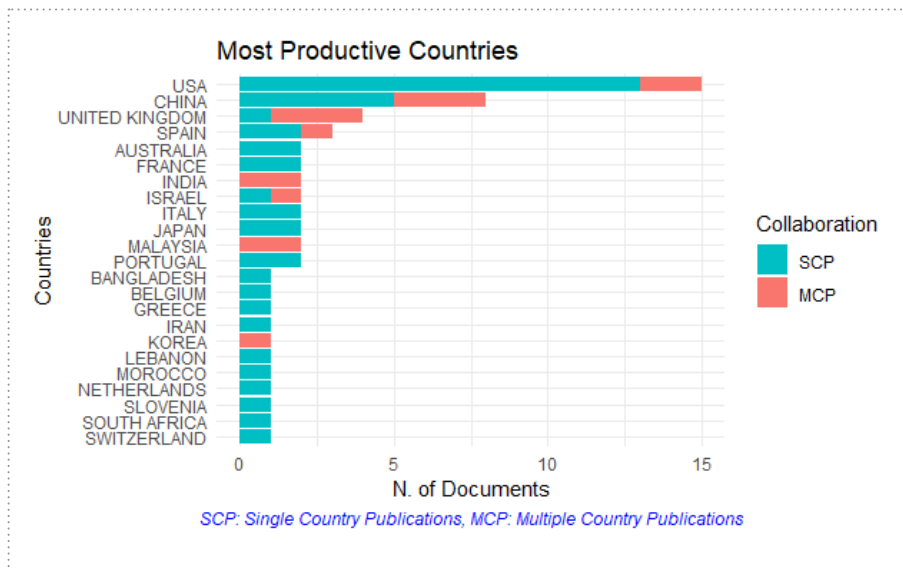
su nuevo y ajetreado estilo de vida. También es necesario reducir o eliminar el tiempo de descanso para realizar la mayor cantidad de actividades que se pueda (trabajo, estudio, juego, ocio y tiempo en familia/amigos). Por lo tanto, existe una tendencia entre los consumidores a “comprar tiempo”, es decir, les será más rápido, fácil y mejor comer y comprar todos los bienes y servicios, y les ahorrará trabajo de transporte (tiempo). (Kasriel-Alexander, 2016)

4. Conclusiones

En esta sección se resume el producto de la revisión de literatura mediante figuras realizadas en el programa RStudio. Para esto se extrajo información de distintas bases de datos, como Scopus, Web of Science, Science Direct y EBSCO. Los resultados fueron realmente diversos y emergieron de las ecuaciones de búsqueda empleadas: “Machine learning AND consumer behavior” y “Machine learning AND impact in consumer behavior”. Esto debido a que, como se dijo antes, los conceptos empleados tienen muchas variantes y aplicaciones.

Figura 4.3

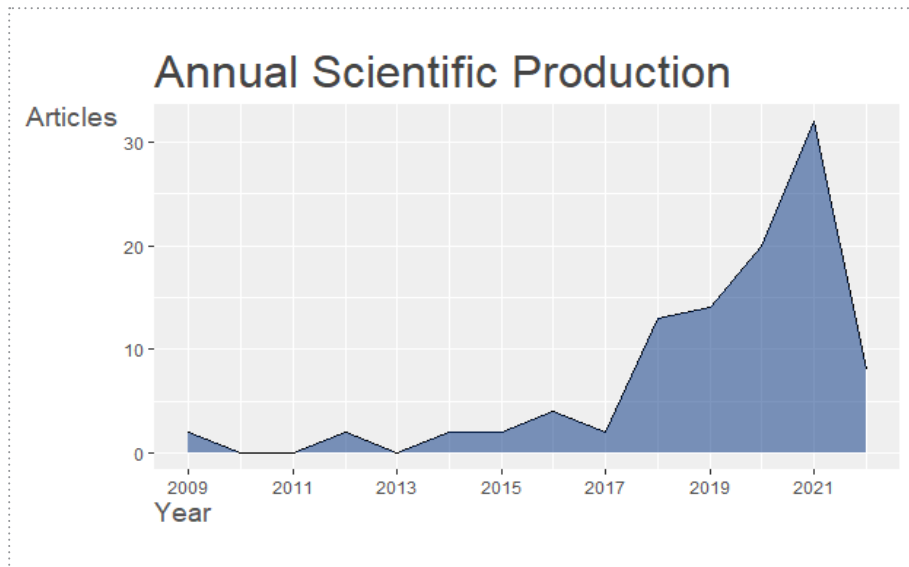
Países más productivos en *machine learning* y comportamiento del consumidor



En la Figura 4.3 se evidencia la gran variabilidad de países que han publicado sobre el tema. El país con mayor número de publicaciones es Estados Unidos, con quince documentos; la mayoría fueron publicados sin colaboración entre países. Por su parte, China ocupa el segundo puesto de país más productivo con ocho artículos publicados. El resto de países presentados en el gráfico de barras han tenido una menor participación, pero hacen parte de los más productivos, incluso con menos de cinco publicaciones sobre el tema.

Figura 4.4

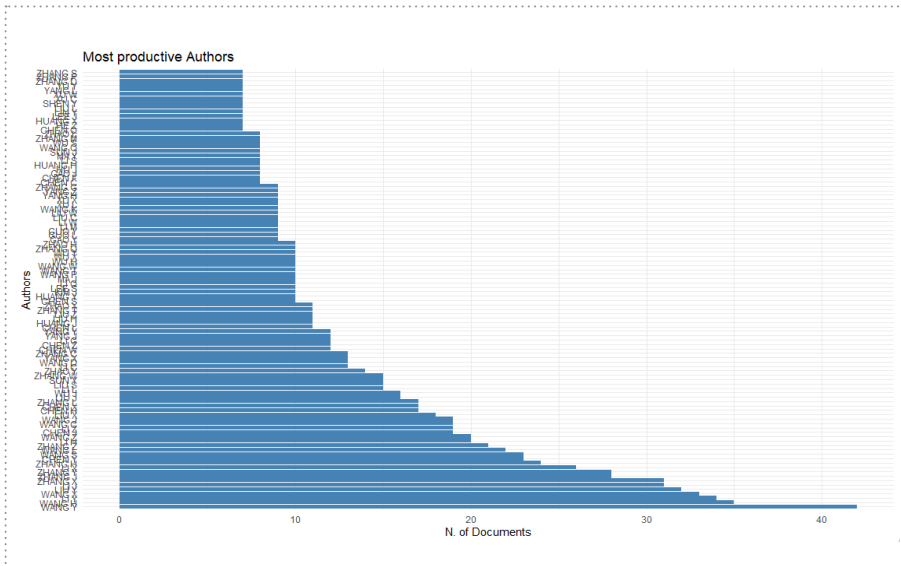
Producción científica anual sobre *machine learning* e influencia en el consumer behaviour



El gráfico nos enseña cómo en los últimos años la producción científica sobre el tema que hemos estudiado se ha incrementado exponencialmente. En el año 2017 se empieza a evidenciar un aumento que se mantiene hasta 2021, año en que termina el intervalo de análisis escogido. Este comportamiento puede ser consecuencia del incremento en el conocimiento del *machine learning*, que se ha dado gracias a los avances informáticos que la revolución 4.0 genera a diario.

Figura 4.5

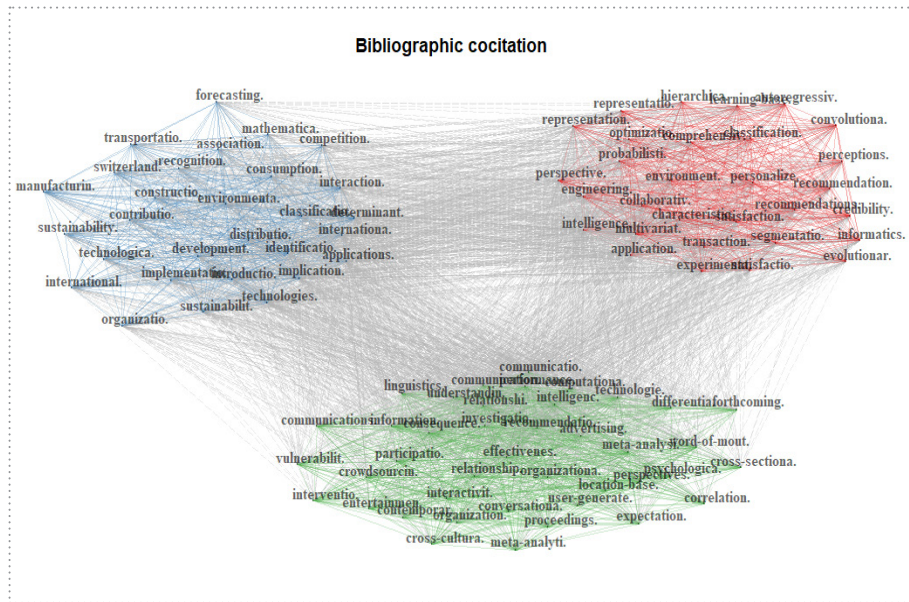
Autores más productivos en los temas de *machine learning* y comportamiento del consumidor



La figura expone la gran variedad de autores destacados en el tema discutido. Hasta cierto punto, esta variedad es difícil de explicar porque está sustentada en una alta cantidad de autores con una producción impensada de artículos. Aunque la gráfica no es muy clara, se puede evidenciar que Yisen Wang (Ph.D. Advisor) es el autor más productivo en el tema de *machine learning* y su influencia en el comportamiento del consumidor. Se cuentan más de cuarenta artículos de su autoría en las bases de datos mencionadas.

Figura 4.6

Cocitaciones bibliográficas en los documentos



Por último, la Figura 4.6 exhibe tres áreas diferenciadas por colores, que han recibido la mayor cantidad de publicaciones sobre el tema; además de que nos muestra la relación de citas entre cada publicación, también presenta la correlación de los artículos por sus citas.

La Cuarta Revolución Industrial ha generado una amplia gama de tendencias tecnológicas que son utilizadas en los distintos modelos de negocio. Las aplicaciones más destacadas son: la recopilación en tiempo real de nuevos datos, el análisis en tiempo real de las observaciones, el desarrollo de predicciones, la anticipación en la identificación de variables relevantes, la toma de las mejores decisiones en tiempo real, la escalabilidad en la competencia de reunir datos y una mayor velocidad de procesamiento. A pesar de que esas ventajas parecen atractivas, su puesta en marcha trae consigo distintos retos, ya que la velocidad y el alcance de las transformaciones digitales requieren varios cambios.

Si bien los procesos de fabricación estaban en manos de unos pocos sistemas grandes, el intervalo de tiempo entre nuevos productos era

más largo. Pero en un mundo donde la computadora que llevamos en el bolsillo es una forma de crear riqueza y aumentar el valor y el significado de cualquiera, en todas partes del mundo, el diseño no es aireado, es innovación corporativa. (Molero, 2015)

En este sentido, el uso de herramientas tecnológicas permite predecir y detectar patrones comportamentales y con base a estos generar respuestas acordes a las tendencias en los hábitos de compra, impulsar la innovación y búsqueda de nuevas soluciones, mejorar la segmentación del público objetivo, reducir costos con el uso de la automatización, mejorar la relación con el cliente, profundizar en el conocimiento del consumidor y optimizar la segmentación de anuncios con algoritmos.

En este punto la digitalización encuentra nuevas formas de conectar, y la intersección entre tecnología y ser humano provoca una transformación que cambia la vida diaria de los humanos y crea un mundo muy diferente (Molero, 2015), en el que el *vending machine* se ve impactado positivamente por una espiral imparables y aceleradísima que se conoce como *machine learning*.

Esto sucede si el aprendizaje de las máquinas genera tres factores: el primero es la entrega del protagonismo a la experiencia del cliente, debido a que la importancia no recae solo en las cualidades del producto, sino que se afecta por factores como los plazos, las condiciones de entrega, la facilidad y comodidad de pago, entre otros. El segundo es la hiperpersonalización de la oferta como un factor clave que determina el proceso de compra, debido a que los consumidores tienen mayores expectativas sobre la adaptación del producto a sus preferencias. Por último está la optimización de acceso y uso como reto de la industria, esto debido a que los usuarios manifiestan preferencia por los productos que facilitan su experiencia, es decir, por los que puedan recibir de forma cómoda y rápida, sin que se generen inconvenientes. Esta variable supera, incluso, la pretensión de un grado de sofisticación.

5. Referencias

Alfonso, M., Cazorla, M., Colomina, O., Escolano, F., y Lozano, M. (2004). *Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación*. Editorial Paraninfo.

- Alpaydin, E. (2020). *Introduction to Machine Learning, fourth edition*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/13811.001.0001>
- Bravo, E. A. (2019). *El marketing y la Cuarta Revolución Industrial*. Alpha Editorial.
- Bottou, L., Curtis, F., y Nocedal, J. (2018). Optimization methods for large-scale machine learning. *Siam Review*, 60(2), 223-311. <https://doi.org/10.1137/16M1080173>
- Cardona Vélez, M., y Vargas Echeverri, M. (2014). *Vending Machine como canal alternativo de distribución para las empresas de aseo personal de Medellín*. [Trabajo de grado, Universidad EIA]. <http://repository.eia.edu.co/handle/11190/1719>
- Celle Sifuentes, L. F., Palacios Guimaray, L. A., y Roqués Lizárraga, A. R. (2019). *Plan de Negocios-SOS Vending Machine*. [Trabajo de grado de Maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/628234>
- Cortés, R. O. (2016). La Cuarta Revolución Industrial, un relato desde el materialismo cultural. *URBS: Revista de estudios urbanos y ciencias sociales*, 6(2), 101-111. <http://www2.ual.es/urbs/index.php/urbs/article/view/olivan>
- Cueva, R. A. (2002). *Marketing: Enfoque América Latina*. McGraw-Hill.
- del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Conferencia de directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII*. <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Dubois, B., y Celma, I. R. (1998). *Comportamiento del consumidor. Comprendiendo al consumidor*. Prentice Hall.
- Dunjko, V., y Briegel, H. J. (2018). Machine learning & artificial intelligence in the quantum domain: a review of recent progress. *Reports on Progress in Physics*, 81(7), e074001. <https://doi.org/10.1088/1361-6633/aab406>

- Faggella, D. (2020). What is Machine Learning? - An Informed Definition. *Emerj Artificial Intelligence Research*. <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>
- García Gutiérrez, Á. (2016). *Machine learning en bases de datos de lenguaje natural*. [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Madrid].
- Garro Betancur, E. (2015). *Industria de máquinas dispensadoras automáticas como canal de distribución de jugos naturales*. Universidad EIA.
- Gómez Hurtado, C., y Ocampo Perdomo, L. F. (2017). *Plan de empresa Jarfood*. [Trabajo de grado, Universidad ICESI].
- Guyon, I. (2008). *Introduction to machine learning*. [Diapositivas y videoconferencia]. Universidad Nacional de Colombia.
- Holdych, S. T., Cox, G. E., Schoenfelder, V. B., Gorman, S. G., y Tiller, D. E. (2016). U.S. Patent Application No. 14/874,822.
- HostelVending. (2019a). *La industria del vending crece un 3,9% en Europa*. <https://www.hostelvending.com/noticias-vending/la-industria-del-vending-crece-un-39-en-europa>
- HostelVending. (2019b). *HostMilano 2019, "the place to be" de las tendencias internacionales del vending y las máquinas de café*. <https://www.hostelvending.com/noticias-vending/hostmilano-2019-the-place-to-be-de-las-tendencias-internacionales-del-vending-y-las>
- Ibáñez, R., Soria, Á., Teyseyre, A. R., y Campo, M. (2014). Evaluación de técnicas de Machine Learning para el reconocimiento de gestos corporales. En *XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa*. Universidad Nacional de La Plata.
- Jódar, J. (2010). La era digital: nuevos medios, nuevos usuarios y nuevos profesionales. *Razón y palabra*, (71). http://www.razonypalabra.org.mx/N/N71/VARIA/29%20JODAR_REVISADO.pdf
- Kasriel-Alexander, D. (2016). *Top 10 global consumer trends for 2015* (pp. 18-21). Euromonitor International.

- Kibria, M. G., Nguyen, K., Villardi, G. P., Zhao, O., Ishizu, K., y Kojima, F. (2018). Big data analytics, machine learning, and artificial intelligence in next-generation wireless networks. *IEEE access*, (6), 32328-32338. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2837692>
- Langley, P. (1996). *Elements of machine learning*. Morgan Kaufmann.
- Luna, J. (2018). *Tipos de aprendizaje automático*. Medium. <https://medium.com/soldai/tipos-de-aprendizaje-autom%C3%A1tico-6413e3c615e2>
- Lussier, F., Thibault, V., Charron, B., Wallace, G., y Masson, J. (2020). Deep learning and artificial intelligence methods for Raman and surface-enhanced Raman scattering. *Trends in Analytical Chemistry*, (124), e115796. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115796>
- Management Solution. (2018). *Machine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio*. <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- Marsland, S. (2011). *Machine learning: an algorithmic perspective*. Chapman and Hall/CRC.
- Matute, V., y Uday, S. (2013). *Diseño y desarrollo de un sistema de ubicación, monitoreo y control de una máquina vending dispensador de bebidas automática mediante un dispositivo AVL*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- McAfee, A., y Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future*. WW Norton & Company.
- Molnar, C. (2019). Interpretable machine learning. *Journal of Open Source Software*, 3(27), 786. <https://doi.org/10.21105/joss.00786>
- Molero, V. (2015). *La revolución digital*. Universidad Complutense de Madrid.
- Pati, J. G. (2019). La Cuarta Revolución Industrial. *Ingenierías USB-Med*, 10(1), e4032. <https://doi.org/10.21500/20275846.4032>

- Panch, T., Szolovits, P., y Atun, R. (2018). Artificial intelligence, machine learning and health systems. *Journal of global health*, 8(2). <https://doi.org/10.7189/jogh.08.020303>
- Peter, J. P., y Olson, J. (2006). *Comportamiento del consumidor y estrategia de marketing*. McGraw-Hill.
- Portafolio. (2009). *Máquinas autodispensadoras, negocio en pleno crecimiento*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/maquinas-autodispensadoras-negocio-pleno-crecimiento-12-157794>
- Quecedo, R., y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, (14), 5-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402>
- Ramírez, D. (2018). Integración del internet de las cosas en los procesos logísticos de máquinas dispensadoras. *Revista Cintex*, 23(1), 25-30. <https://doi.org/10.33131/24222208.309>
- Ramprasad, R., Batra, R., Paliana, G., Mannodi-Kanakkithodi, A., y Kim, C. (2017). Machine learning in materials informatics: recent applications and prospects. *Computational Materials*, 3(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41524-017-0056-5>
- Revista Dinero. (2016). *El lucrativo negocio de las máquinas dispensadoras tiene oportunidades en Colombia*. <https://www.dinero.com/empresas/articulo/mercado-de-las-maquinas-dispensadoras-tiene-oportunidades-en-colombia/223371>
- Roman, V. (2019). *Introducción al Machine Learning: Una Guía Desde Cero*. Medium. <https://medium.com/datos-y-ciencia/introduccion-al-machine-learning-una-gu%C3%ADa-desde-cero-b696a2ead359>
- Russo, C., Ramón, H., Alonso, N., Cicerchia, L., Esnaola, L., y Tessore, J. (2016). Tratamiento masivo de datos utilizando técnicas de machine learning. En *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Entre Ríos, Argentina.

- Shalev-Shwartz, S., y Ben-David, S. (2014). *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019>
- Schiffman, L. G., y Kanuk, L. L. (2005). *Comportamiento del consumidor*. Pearson Educación.
- Schwab, K. (2016a). *La Cuarta Revolución Industrial*. Debate.
- Schwab, K. (2016b). Cuatro principios de liderazgo de la Cuarta Revolución Industrial. *World Economic Forum* (Vol. 12). <https://es.weforum.org/agenda/2016/10/cuatro-principios-de-liderazgo-de-la-cuarta-revolucion-industrial/>
- Slotnisky, D. (2016). *Transformación digital: cómo las empresas y los profesionales deben adaptarse a esta revolución*. Digital House, Coding School.
- Solomon, M. (2008). *Comportamiento del consumidor* (Vol. 7). Pearson Educación.
- Visionet Systems. (2019). *How is machine learning making vending machines smarter?* Medium. <https://medium.com/@visionet-systems/how-is-machine-learning-making-vending-machines-smarter-a9a98f397be4>

Capacidades de I4.0 enfocadas a procesos de internacionalización. Pymes del departamento de Boyacá

Nely Pérez Martínez¹⁸

Nubia Yaneth Gómez Velasco¹⁹

Iván David Ruiz Rosas²⁰

Resumen

La transformación digital de las organizaciones empresariales, particularmente de las pequeñas y mediana empresas (pymes) del departamento de Boyacá, es vital para aprovechar las oportunidades que la globalización ofrece. Sin embargo, existe un vacío informacional respecto al estado actual de las capacidades relacionadas con la Industria 4.0 (I4.0) en las pymes de la región para soportar procesos de internacionalización; esta investigación pretende reducir dicho vacío. Metodológicamente, tiene un enfoque cuantitativo, de carácter exploratorio, aplicado a una muestra representativa de pymes del departamento. Se indagan catorce variables, clasificadas en cinco categorías de capacidades, identificadas como fundamentales para procesos de

18 Administradora de Empresas. Magíster en Administración. Estudiante de Doctorado en Administración. Docente de la Escuela de Administración de Empresas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: rosa.perez@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9299-1272>

19 Licenciada en Matemáticas y Estadística, Especialista y Magíster en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia. Doctora en Ciencias de la Educación. Docente de programas de doctorado, maestrías y pregrado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante de los Grupos de Investigación Gamma e Hisula. Correo electrónico: nubia.gomez@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7745-1721>

20 Administrador de Empresas. Integrante del Centro Regional para la Gestión de la Productividad y la Innovación de Boyacá (CREPIB). Correo electrónico: ivandavid.ruiz@uptc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-2693>

internacionalización soportados en la I4.0. Los hallazgos permiten establecer cinco grupos de empresas a partir de la consolidación de dichas variables con propósitos de internacionalización. Tan solo el 30 % de las variables estudiadas se encuentran en nivel máximo de consolidación en un reducido número de pymes de la región, lo que permite establecer las brechas a cerrar para acercar el tejido empresarial de la región a procesos efectivos de intercambios diversos en la aldea global.

1. Introducción

Se parte de la precisión conceptual y del origen de la Cuarta Revolución Industrial, y de cómo su evolución soporta la transformación de las organizaciones empresariales hacia el intercambio global de una gran diversidad de medios y recursos, agrupados estos en lo que se conoce como la Industria 4.0. Seguidamente, se amplía el concepto de internacionalización, más allá del mero intercambio comercial y se observa cómo este proceso es mediado por la tecnología digital I4.0. El marco teórico tiene como límite estos dos componentes, que definen un instrumento que (a partir de un proceso metodológico de enfoque cuantitativo) procura la rigurosidad para responder a la siguiente pregunta: ¿cuál es el estado de las capacidades de I4.0 orientadas a procesos de internacionalización, de las pymes de Boyacá? Para ello se utilizan categorías de capacidades y variables en cada pyme, identificadas en la teoría como fundamentales en procesos de internacionalización. Con base en el marco teórico, se construye el instrumento para la recolección de información, tratada estadísticamente para obtener los resultados y construir las conclusiones.

2. Marco teórico

La denominación temporal dentro del ciclo llamado “Cuarta Revolución Industrial” obedece a un marco analítico desarrollado por historiadores económicos para comprender grandes cambios o mutaciones determinantes de la economía. Uno de los pioneros en este tipo de estudios es el economista ruso Nicolai Dimitriev Kondratieff, quien, en su libro *On the Notion of Economic Statics, Dynamics, and Fluctuations*, publicado en 1924, establece que en el capitalismo existen ciclos

económicos que se pueden identificar usando principios estadísticos para extraer tendencias y calcular desviaciones. Así, logra determinar ondas largas y cortas en el desarrollo económico (Martínez, 2001). Ese marco analítico será difundido luego en Occidente por Schumpeter, quien lo utilizó como cimiento para determinar el papel de la innovación en dichos ciclos. La divulgación de sus resultados aparece en su obra seminal *Business Cycles* (Schumpeter, 1939). En otras palabras, el uso del concepto “revolución” identifica olas en el desarrollo económico del sistema capitalista en las cuales la innovación tecnológica fue y es determinante. Si la Primera Revolución Industrial se basó en el uso del agua y, más tarde, del vapor para mecanizar la producción, la segunda utilizó la energía eléctrica para introducir la producción en masa; a su vez, la tercera se basó en el uso de la electrónica y la tecnología de la información para automatizar la producción. Finalmente, la cuarta, conocida como “Industria 4.0”, se basa en la creación de “fábricas inteligentes” e integra la producción basada en tecnologías de información y comunicación de última generación (Ciffolilli y Muscio, 2018, p. 5).

En Europa, la Industria 4.0 (en adelante I4.0) es un término que se utiliza para definir productos, procesos y tecnologías novedosos utilizados en la organización de las cadenas de valor de las empresas. Se basa en fábricas inteligentes, en las que los sistemas ciberfísicos monitorean los procesos físicos y se comunican entre sí y con los humanos en tiempo real (Ciffolilli y Muscio, 2018). Los orígenes del término, y gran parte de su significado, se asocian con lo que el gobierno alemán consolidó en el documento titulado *The new High-Tech Strategy Innovations for Germany*, publicado en 2014, cuyo objetivo básico es hacer avanzar a Alemania en su camino para convertirse en un líder mundial en innovación. Se trata, pues, de una política de innovación que la sociedad alemana se impone para encontrar respuestas creativas a los desafíos urgentes de nuestro tiempo, incluidos los retos en áreas como el desarrollo urbano sostenible, la energía respetuosa con el medio ambiente, la medicina individualizada y la sociedad digital (Government German Federal Report, 2014). Según esta política, “la industria se encuentra ahora en el umbral de una Cuarta Revolución Industrial. A través de la evolución de Internet, el mundo real y el mundo virtual están convergiendo, cada vez más, para formar una internet de las cosas IoT”. Las características clave de la producción industrial del futuro:

Incluirán la producción de bienes y servicios ampliamente individualizados, dentro de entornos de producción altamente flexibles; integración de clientes en etapa temprana y socios comerciales dentro de los procesos de diseño y creación de valor; la articulación de la producción y los servicios de alta calidad, para generar “productos híbridos”. (Government German Federal Report, 2014, p. 16)

Son múltiples las aristas con las cuales se aborda el fenómeno de la I4.0, algunas de ellas están enfocadas en la adopción de aspectos puramente tecnológicos (Agostini y Nosella, 2020; Rozo-García, 2020), en modelos de evaluación de madurez, preparación de las empresas y su transición al sistema (Ardito et al., 2021; Jacquez-Hernández y Torre, 2018), impacto en el desempeño de las empresas (Calış Duman y Akdemir, 2021), operaciones de procesos de negocio como abastecimiento, compras, cadenas de distribución (Bienhaus y Haddud, 2018; Jermittiparsert y Boonratanakittiphumi, 2019), en relación con el recurso humano y los cambios en el trabajo (Pfeiffer, 2016), y, por supuesto, en lo que quizá más se hace énfasis: la posibilidad de reconfigurar la personalización de algunos productos (Andersen et al., 2018).

El marco teórico de esta investigación está estructurado por las variables clave en procesos de internacionalización (en el campo de las pymes) y su relación con la I4.0. Una forma de categorizar la prolífica producción teórica al respecto reside en utilizar algunas variables estratégicas en los procesos de internacionalización, específicamente en pequeñas y medianas empresas. Para este tipo de organizaciones, la I4.0 es considerada como una oportunidad, no libre de barreras, que pueden ser detectadas sistematizando información hallada en la literatura con información de campo. Para este caso, el objeto de estudio se centra en responder a la pregunta: ¿cuál es el estado de las capacidades de I4.0 orientadas a procesos de internacionalización, de las pymes de Boyacá?

En un primer momento, se abordará el concepto de internacionalización, seguido de la descripción de variables en las que la I4.0 tiene una significativa importancia para las organizaciones empresariales que decidan afrontar dicho proceso, en el marco actual de globalización.

Internacionalización

Para Arteaga et al. (2017), la internacionalización no solo se basa en la exportación de bienes, como comúnmente se cree. También implica a una serie de actividades relacionadas con inversión dentro y fuera del país, importación de materia prima y servicios, es decir, todas aquellas actividades de la cadena de valor de empresa que sirven, precisamente, para crear más valor, vía reducción de costos, principalmente. Implica también aspectos que, aunque no parecieran directamente relacionados con la cadena de valor, influyen a la hora de entablar relaciones con actores extranjeros como la cultura y la multinacionalidad (Delios y Beamish, 2001), conocimiento e información (Autio et al., 2000; Gulanowski et al., 2018; Knight y Lieschb, 2002), el vínculo con redes y relaciones (Harris y Wheeler, 2005) y, en especial, uno de los aspectos de más peso al emprender procesos de internacionalización: la visión estratégica del empresario (Miocevic y Crnjak-Karanovic, 2010).

Diversas investigaciones han demostrado que las empresas que introducen tecnologías I4.0 presentan mayor productividad, estimulan la internacionalización de firmas locales y la entrada de inversionistas extranjeros (Corò et al., 2020; Götz, 2020), repercuten en el funcionamiento de los clústeres –ya que requieren un enfoque integrador más interdisciplinario con la provisión de bienes comunes industriales (Götz, 2021)– e incluso aportan a procesos de desarrollo sostenible al proporcionar soluciones digitales para la automatización de la fabricación, basados en la economía circular 10R²¹ (Bag et al., 2021). Estas y otras consideraciones hacen relevante la introducción de variables en la que la I4.0 aporta directamente a procesos de internacionalización de pymes.

VARIABLES CLAVE DE I4.0 PARA PROCESOS DE INTERNACIONALIZACIÓN

Entre las variables empresariales fundamentales en los procesos de internacionalización, y para satisfacer el límite de la presente

21 Rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reutilizar, reciclar y recuperar.

investigación (que se centra en la Cuarta Revolución Industrial, I4.0), se han seleccionado aquellas que guardan mayor conexión con dicho proceso. Antes de seguir, es importante precisar los términos “capacidad” y “capacidad organizacional”. Autores como Dosi et al. (2000) consideran que ser capaz de algo es tener una capacidad generalmente confiable para producir ese algo como resultado de una acción intencionada. Las capacidades llenan la brecha entre la intención y el resultado, de tal forma que el resultado tiene una semejanza definitiva con lo que se pretendía. Podría decirse que algunas de las “habilidades de la organización” son las modulares, que serían usadas específicamente en la empresa (de rutina) o, por el contrario, podrían no tener ninguna relación con ella (individuales). Podría decirse que las rutinas organizacionales tienen como función principal coordinar las habilidades de la organización, es decir, orientar esa colectividad de habilidades hacia un efecto útil. Las capacidades también son definidas como todo aquello que una empresa despliega en recursos, tangibles o intangibles, para realizar una tarea o actividad que mejore su desempeño (Inan y Bititci, 2015). Helfat y Peteraf indican que la capacidad organizacional es aquella que sirve “para realizar un conjunto coordinado de tareas, utilizando recursos organizacionales, con el propósito de lograr un resultado final particular” (en Inan y Bititci, 2015).

En esta investigación se trata de evidenciar las capacidades de las empresas soportadas en I0.4 para emprender actividades de internacionalización, habida cuenta de su importancia en la optimización de procesos relacionados con la mejora de productos, la relación con clientes (Thekkoote, 2022) y el perfeccionamiento de procesos productivos (Al-Edenat, 2021). Para ello, la pequeña y mediana empresa deben ejecutar una transformación digital (Khin y Mui Hung, 2022) que les permita aprovechar las oportunidades que la I4.0 les ofrece.

De aquí en adelante serán descritas las cinco variables; aparecerán resaltadas con cursiva. En primer lugar está la *Capacidad humana* (CH). Se refiere al resultado y al uso del aprendizaje genérico que se deriva del aprendizaje formal adquirido en el sistema educativo, y al específico que se adquiere en la empresa. Esta formación genera en los trabajadores una mayor productividad para la empresa (Becker, 1975). Para esta variable se indaga acerca de la disposición de la empresa para asignar y preparar personal para procesos de aprendizaje. Este

aprendizaje está directamente relacionado con el *Desarrollo de procesos productivos* (DPP), entendido como el que tiene la organización para aplicar eficientemente las dinámicas que satisfacen las necesidades y expectativas de los clientes y mercados nacionales e internacionales, con un alto nivel de desempeño de las personas de la organización (Henao y Vásquez, 2013).

Aquí se indaga acerca de si la empresa gestiona indicadores para verificar efectividad en sus procesos de producción, logística y barreras en este propósito, involucrando en ellos, de modo estable e incremental, la *Innovación y jalonamiento competitivo* (INJ), que se refiere a los aspectos tecnológicos y estructurales que afectan la internacionalización, tales como la novedad del producto, la flexibilidad y las ventajas diferenciadoras de la empresa. Estas son algunas de las variables con más aspectos para explorar, ya que involucra desde la flexibilidad para el cambio hasta la determinación de las innovaciones, y la fase en la que se encuentran. Variadas investigaciones evidencian otros elementos relevantes a la hora de emprender y sostener procesos de internacionalización, como el *Relacionamiento interno y externo* (RIE), referido al conjunto de conexiones que se suceden en distintos niveles y que facilitan a la empresa hallar actores estratégicos y relacionarse con ellos en distintas etapas del proceso de negocios (Ferrucci et al., 2018).

Igualmente, las *Sociedades de conocimiento* (SC), entendidas como la capacidad de la empresa para “aprender a aprender”, se consolidan como un concepto que puede ser aplicado desde lo individual, pero también desde el punto de vista organizacional (Drucker, 1993). Ambos involucran condiciones de infraestructura, documentación, herramientas y estrategias que le permitan aprender y generar las condiciones para competir con actores ampliamente reconocidos en el medio.

La literatura hallada que evidencia el vínculo entre estas variables y la I4.0 se presenta en paralelo en la Tabla 5.1. En ella se identifican los conceptos clave de la I4.0 que contribuyen a los aspectos clave de internacionalización por cada una de las cinco variables tratadas en la presente investigación.

Tabla 5.1

Referentes teóricos de variables clave para la internacionalización focalizadas en el marco de la I4.0

Internacionalización		Industria 4.0	
Conceptos clave involucrados	Autores	Conceptos clave involucrados	Autores
Variable: Capacidad humana (CH)			
Influencia del capital humano, capacidad de absorción, desempeño, capacidad y nivel de compromiso, inversión en capital humano.	Mubarik et al., 2020; Fernández-Ortiz et al., 2015; Gashi, 2014.	Procesos de formación del personal, integración ser humano – I4.0, efecto del RH en la calidad de la Industria 4.0.	Nguyen, 2022; Pacaux-Lemoine et al., 2022; Balouei Jamkhaneh et al., 2022.
Variable: desarrollo de procesos y productos (DPP)			
Existe relación entre internacionalización y desarrollo de nuevos productos.	Zimmermann, 1987; Bezchinsky, 2003; Meza, 2016.	Priorización de la I4.0 en el diseño del producto, ingeniería digital para desarrollo de nuevos productos, la I4.0 apoya el desarrollo de nuevos productos.	Wijewardhana et al., 2021; Gerschütz et al., 2021; Dalmarco et al., 2021.
Variable: innovación y jalonamiento competitivo (INJ)			
Relación entre I+D, Tecnología e internacionalización.	Suh y Kim, 2014; Vuorio et al., 2020; Cassetta et al., 2020.	Competitividad en industrias emergentes, transformación digital y competitividad, estrategias en el mundo digital.	Álvarez-Aros y Bernal-Torres, 2021; Bal y Erkan, 2019; Garzoni et al., 2020; Surie, 2020.

Variable: relacionamiento interno y externo (RIE)			
Operaciones y redes, Clúster.	Franco et al., 2020; Yoon et al., 2020.	Capital relacional proveedor consumidor, ecosistemas digitales, distritos industriales – I4.0, redes de valor.	Benzidia et al., 2021; Avdeeva et al., 2021; Bettiol et al., 2020; Ruohomaa et al., 2018.
Variable: información y sociedad del conocimiento (SC)			
Acceso a información relevante (vigilancias, infraestructura para la información), redes de conocimiento.	Davenport, 2005; Guerrieri y Pietrobelli, 2004; Alimberti y Zanella, 2019.	Experiencias colaborativas y transferencia de conocimiento, difusión del conocimiento en la I4.0.	Cotrino y González-Gaya, 2021; Pawlyszyn et al., 2020.

Nota. Elaboración propia a partir de los autores citados.

Los dos cuerpos teóricos examinados en la tabla previa evidencian una fuerte interacción en la medida en que la I4.0 soporta el desarrollo de las variables consideradas clave para que las empresas avancen o logren estar en escenarios que favorezcan procesos de internacionalización. Según lo expuesto, la tecnología I4.0 ofrece una vía que acelera y potencia la capacidad de las empresas para superar los límites territoriales a partir de diversas interacciones con el medio externo.

Habida cuenta de esta relación, se trata ahora de determinar las condiciones actuales de un conjunto representativo de pymes del departamento de Boyacá, con respecto a las cinco variables mencionadas, e identificar, a partir de dicha condición, barreras y alternativas para que las pymes de la región se integren a procesos de internacionalización soportadas en las oportunidades que la I4.0 ofrece.

3. Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que aborda dimensiones medibles, con objetividad crítica y neutralidad, verificabilidad

de los datos numéricos y confiabilidad (Galeano, 2004). Al tratarse de un modelo deductivo, se busca su replicabilidad y capacidad de predicción (Hernández et al., 2008). De otra parte, esta investigación tiene un alcance descriptivo en la medida en que se pretende identificar ciertas características y atributos de una población determinada, en este caso empresas pequeñas y medianas del departamento de Boyacá. Dado el tipo de alcance investigativo, se soporta en el uso de estadísticas sensibles a los aspectos geográfico-territoriales, puesto que busca obtener estimaciones fiables de los fenómenos estudiados, incluso a escala subnacional (Corbetta, 2007).

Población: organizaciones empresariales ubicadas en el departamento de Boyacá. Se parte de la base de datos unificada de quienes velan por el registro oficial de dichos establecimientos, es decir, las Cámaras de Comercio; en este caso, de Duitama, Sogamoso y Tunja, que cubren todo el departamento. El tipo de empresa elegida responde a las descripciones de la Ley 905 de 2004 que establece el carácter de micro, pequeña y mediana empresa.

Técnica de muestreo: para efectos de que la muestra sea representativa, se realizó un muestreo estratificado simple, de acuerdo con la cantidad registrada de empresas en cada área de cobertura de las Cámaras de Comercio de Tunja, Duitama y Sogamoso. Los resultados determinaron un tamaño de muestra de 129 empresas, distribuidas así: Tunja: 85; Duitama: 20; Sogamoso: 24.

Instrumento: se utilizó una encuesta construida a partir del desarrollo teórico, pertinente a la identificación de capacidades requeridas para procesos de internacionalización, de diversos autores (Henao y Vásquez, 2013; Jankowska, 2011; Restrepo y Vanegas, 2015; Villarreal, 2008) y la contribución parcial de otras escalas creadas por los autores citados en la Tabla 5.1. De esta encuesta solo se seleccionaron las variables directamente relacionadas con la I4.0, ya mencionadas, para la presente investigación.

Valoración de resultados: corresponde a una agrupación de empresas que presentan, de forma gradual, el desarrollo y consolidación de capacidades para internacionalización soportados en I4.0, desde un nivel básico o inexistente hasta un nivel consolidado y mejorado.

A continuación, son descritos los cinco niveles de categorización:

Grupo 1: Empresas que no muestran ningún interés en la internacionalización ni lo contemplan para su futuro cercano.

Grupo 2: Empresas que han contemplado iniciar procesos de internacionalización en el corto plazo y mediano plazo.

Grupo 3: Empresas que han definido algunos procesos y los ejecutan de manera fragmentada y esporádica.

Grupo 4: Empresas que tienen definidos y estructurados procesos de internacionalización.

Grupo 5: Empresas que han mejorado algunos de los procesos ya implementados para internacionalización.

Esta agrupación deja ver que el grado óptimo de desarrollo de capacidades en I4.0 para la internacionalización es el grupo 5, esto debido a que la empresa ya tiene implementados y mejorados algunos procesos en esa dirección, integrando así capacidad humana y organizacional, procesos de innovación y relacionamiento, y redes reconocimiento. Esto no necesariamente significa que la empresa ya adelantó ejercicios de internacionalización en algún sentido, sino que ya cuenta con las capacidades para hacerlo.

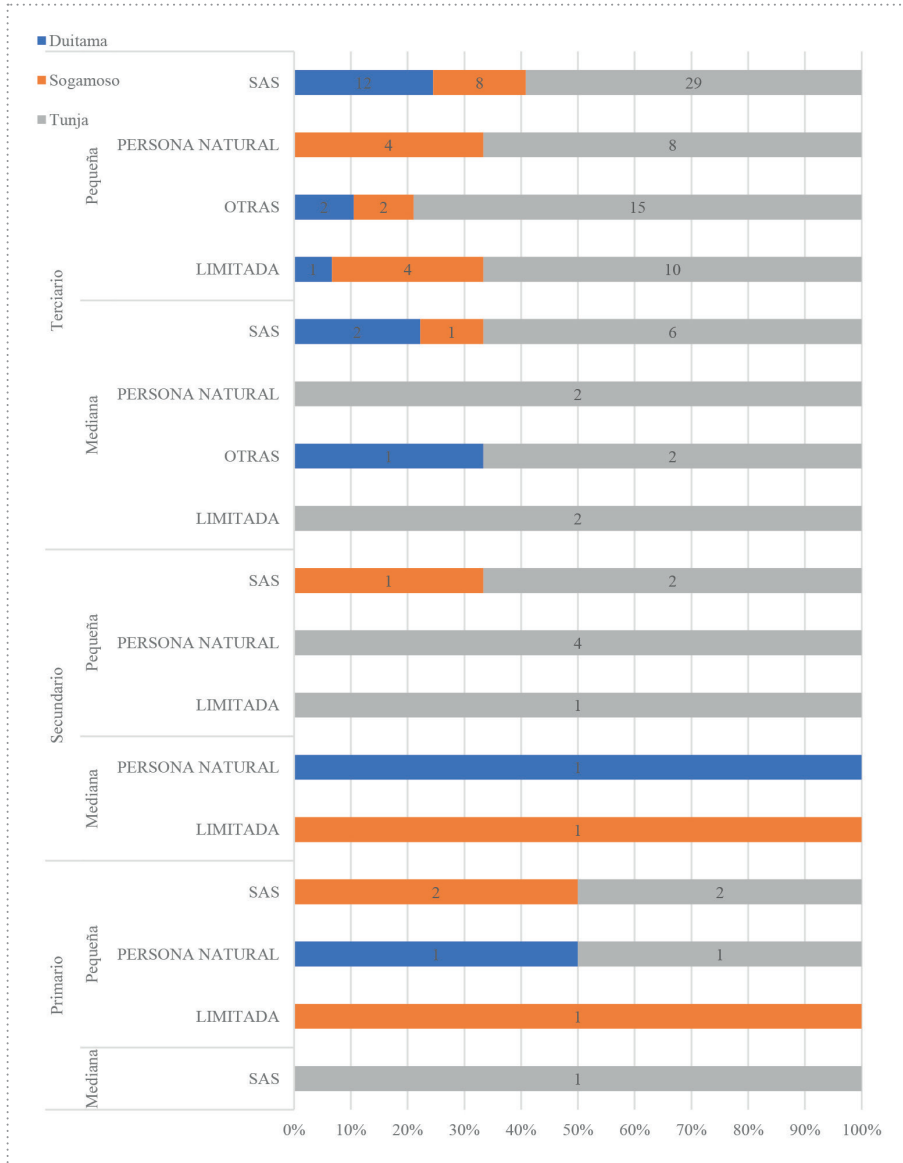
Tratamiento de datos: se realizó una organización, depuración y normalización de la base de datos recolectada. Se identificaron, a partir de diagramas de *box plot* y análisis de puntajes típicos estandarizados, los puntajes potencialmente atípicos. Se aplicaron gráficos de tendencias y se complementaron con técnicas univariadas y bivariadas de tipo descriptivo.

4. Resultados

Breve caracterización de la unidad de estudio

Se trata de 129 empresas ubicadas en las jurisdicciones de las Cámaras de Comercio de Duitama, Tunja y Sogamoso. Su distribución, por tamaño y sectores, se presenta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2
Caracterización de la unidad de estudio



Del total de las empresas, el 85 % son pequeñas, 6.2 % del sector primario, 7.8 % del sector secundario y 86 % del sector terciario. En cuanto a su constitución jurídica, el 16.3 % son Persona Natural, el 52.2 %

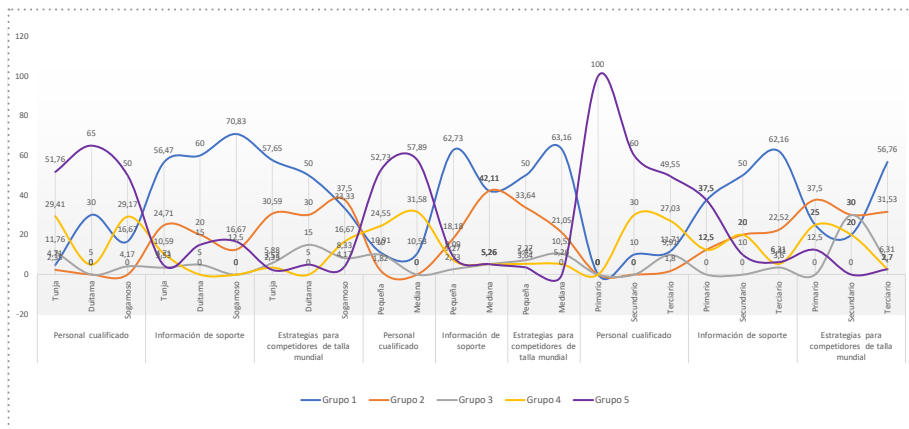
son Sociedad por Acciones Simplificada, el 15.5 % son Sociedades de Responsabilidad Limitada y el 17.1 % corresponde a otras configuraciones jurídicas como las fundaciones.

Los hallazgos en términos de capacidades

Por cada una de las variables, los resultados se presentan clasificados por ciudad, por sector económico y por tamaño de la empresa, destacando el grupo en el que, finalmente, queda clasificada la capacidad analizada. La interpretación de la salida gráfica es amplia y variada; queda al interés del lector, por lo cual solo se hará referencia a los aspectos relevantes en cada capacidad.

Capacidad Humana (CH). En esta capacidad se evaluaron factores relacionados con las necesidades de fortalecimiento de capacidades y conocimiento de las oportunidades para procesos de internacionalización.

Figura 5.1
Resultados



Respecto a la ciudad de jurisdicción, el 57,6 % de las vinculadas a la Cámara de Comercio de Tunja; el 54,1 %, de las de Sogamoso; y el 55 %, de las de Duitama; en relación con el sector de la economía, el 62,5 % de las que pertenecen al sector primario, el 60 % de las del secundario y el 55,8 % del sector terciario; en cuanto al tamaño, el 57,27 % de las

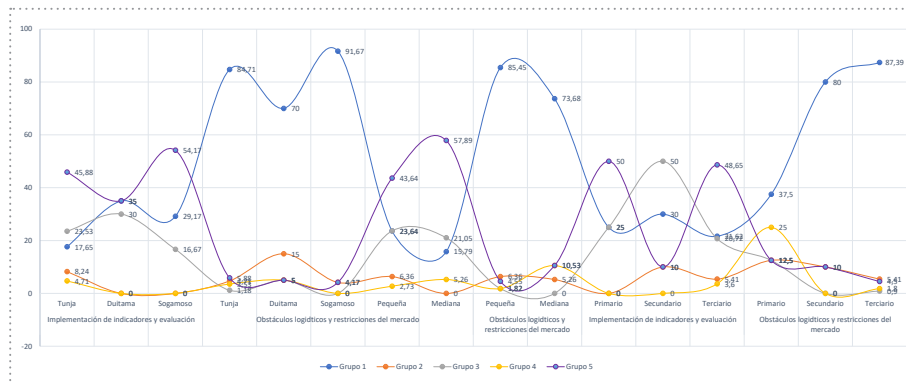
pequeñas empresas y el 52,63 % de las medianas, se concentran uniformemente en el grupo 4, lo que significa que tienen definidas las necesidades de fortalecimiento y han estructurado algunos procesos de fortalecimiento de las mismas, con fines de lograr procesos de internacionalización. Sin embargo, algunas de ellas –sin distintivo de jurisdicción, sector o tamaño– se concentran en el grupo 3, lo que evidencia que estas pymes han definido algunas necesidades de fortalecimiento de capacidades, con miras a la internacionalización, y las han robustecido de forma fragmentada y esporádica.

Por otro lado, el 25 % de las pymes del sector primario, el 10 % del secundario, el 9 % del terciario; el 11.7 % de las de Tunja, el 10 % de las de Duitama y el 4.17 % de las de Sogamoso; el 10,5 % de las medianas y el 10 % de las pequeñas se ha concentrado en el grupo 5, lo que permite establecer que han logrado implementar o mejorar procesos para definir necesidades de fortalecimiento de capacidades.

Respecto al conocimiento de las oportunidades para procesos de internacionalización, las pymes en mayor porcentaje son las de la jurisdicción de Sogamoso (con un 87,5 %). El 72,07 % pertenece al sector terciario y el 70,9 % de las pequeñas se concentra mayoritariamente en el grupo 1, lo que evidencia que estas pymes no tienen un gran interés o no contemplan conocer las oportunidades para procesos de internacionalización. Como dato importante, se debe considerar que ninguna empresa ha logrado establecerse en el grupo 5, lo que evidencia que ninguna empresa ha logrado implementar o mejorar procesos que le permitan conocer las oportunidades para procesos de internacionalización.

Desarrollo de procesos productivos (DPP). En esta capacidad se evaluaron la implementación de indicadores o mecanismos de evaluación de la eficiencia de procesos, los obstáculos logísticos y las restricciones para abordar un mercado internacional.

Figura 5.2
Desarrollo de procesos productivos (DPP)



En la implementación de indicadores o mecanismos de evaluación de la eficiencia de procesos, se evidencia una alta concentración de las pymes de la jurisdicción de Tunja (54,17 %) y Sogamoso (45,88 %); en tamaño, las medianas (57,89 %) y pequeñas (43,64 %) son las más comunes; y por sectores, el primario (50 %) y el terciario (48,65 %) dominan, todas ellas están ubicadas en el grupo 5. Esto significa que estas pymes han mejorado sus indicadores de evaluación de la eficiencia de procesos que ya han implementado con fines de internacionalización.

En relación con los obstáculos logísticos y las restricciones para abordar un mercado internacional, las pymes se concentran en el grupo 1, que está integrado por el 91,6 % de las pymes de la jurisdicción de Sogamoso, el 84,7 % de las de Duitama y el 70 % de las de Tunja. En cuanto al tamaño, el 85,4 % son pequeñas y el 73,6 % medianas. En cuanto al sector, el 87,3 % son del sector terciario y el 80 % del secundario. Eso evidencia que estas pymes no reflejan algún interés en superar los obstáculos logísticos y las restricciones existentes para abordar un mercado internacional, y tampoco contemplan superarlos en un futuro cercano.

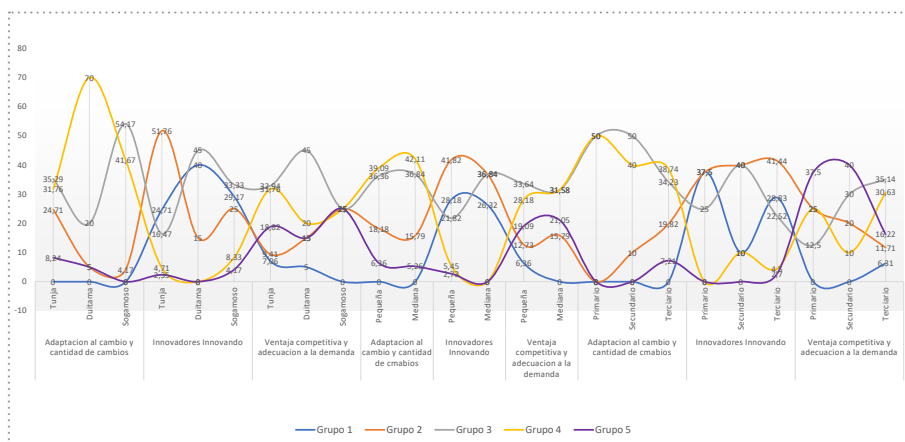
Es relevante considerar que el 5,8 % de las pymes de Tunja, el 5 % de Duitama y el 4,1 % de Sogamoso, el 10,5 % de las medianas, el 4,5 % de las pequeñas, el 12 % del sector primario, el 10 % del sector secundario y el 4,5 % del terciario han logrado concentrarse en el grupo 5, lo que sugiere que han mejorado algunos procesos ya implementados

que han permitido superar los obstáculos logísticos y las restricciones existentes para abordar un mercado internacional.

Innovación y jalonamiento competitivo (INJ). En esta capacidad se evaluaron seis variables: flexibilización o adaptación al cambio y cantidad de cambios implementados por parte de las pymes; la formación y desarrollo de funciones orientadas en innovación; las ventajas competitivas con las que cuenta la pyme y su capacidad de adaptación y adecuación a la demanda; el estado del proceso de propiedad intelectual; el factor diferenciador o valor agregado de los productos o procesos propios y fases en que se encuentra cada uno de ellos; la facilidad de adaptabilidad del desarrollo tecnológico; y, por último, la infraestructura que posee la pyme frente a la demanda.

Para efectos de facilitar visualmente los resultados de esta capacidad, se ha separado; en la Figura 5.3 se presentan las tres primeras, igualmente frente a jurisdicción, tamaño y sector económico.

Figura 5.3
Innovación y jalonamiento competitivo (INJ), parte A



Respecto a la flexibilización o adaptación al cambio y la cantidad de cambios implementados por parte de las pymes tenemos los siguientes datos: el 70 % de las pymes ubicadas en la jurisdicción de Duitama, el 42,1 % del tipo mediana y el 50 % del sector primario se concentran en el grupo 4. Lo que significa que estas pymes han definido y

estructurado procesos que han permitido la flexibilización, adaptación e implementación de cambios en su proceso productivo. Por otro lado, el 54,1 % de las pymes en la jurisdicción de Sogamoso, el 36,8 % de las medianas y el 50 % del sector secundario pertenecen al grupo 3, lo que evidencia que estas pymes han definido y estructurado algunos procesos que han permitido la flexibilización o la adaptación al cambio y la implementación de cambios en su proceso productivo, pero de manera fragmentada y esporádica. Como dato significativo, el 8,2 % de las pymes de Tunja y el 2,3 % de Duitama, el 6.3 % de las pequeñas, el 5.2 % de las medianas y el 7.2 % del sector terciario han logrado concentrarse en el grupo 5, lo que demuestra que han mejorado algunos procesos ya efectuados que han permitido la flexibilización y la adaptación al cambio, además de la implementación de cambios en su proceso productivo.

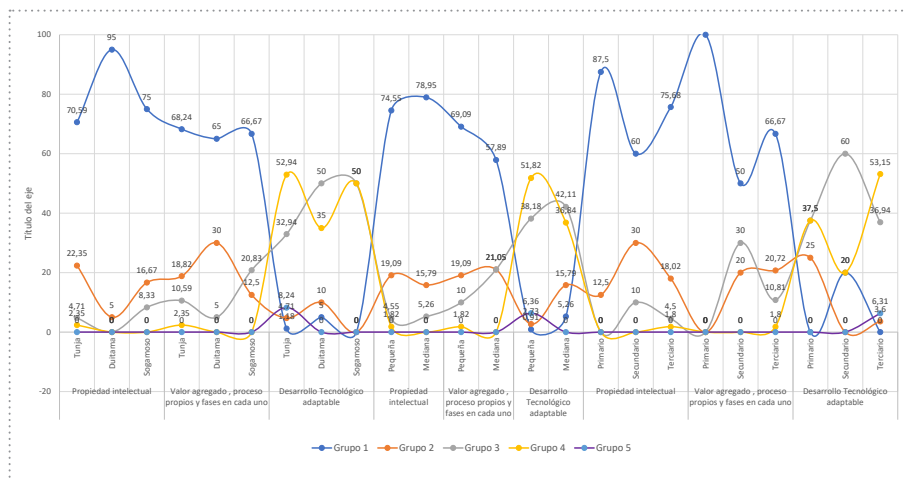
La capacidad de innovación, que involucra la formación y desarrollo de funciones orientadas en innovación, se concentra en el grupo 2. Aquí, el 51,7 % de las pymes se encuentran en Tunja, el 41,8 % son pequeñas y el 41,4 % pertenecen al sector terciario. Estos resultados muestran que estas pymes han contemplado iniciar procesos de formación y desarrollo de funciones orientadas en innovación en el corto y mediano plazo. Sin embargo, el 45 % de las pymes en Duitama, el 36,8 % de las medianas y el 40 % del sector secundario se concentran en el grupo 3, lo que evidencia que estas pymes han definido algunos procesos de formación y desarrollo de funciones orientadas en innovación, pero los desarrollan de modo fragmentado y esporádico. Como dato importante, el 4,1 % de las pymes de Sogamoso y el 2,3 % de las Tunja, seguido del 2,7 % de las pequeñas y del sector secundario han logrado concentrarse en el grupo 5, lo que indica que han mejorado algunos procesos ya implementados de formación y desarrollo de funciones orientadas en innovación.

Respecto a las ventajas competitivas con las que cuenta la pyme y su capacidad de adaptación a la demanda, el 45 % de las pymes Duitama y el 33,6 % de las pequeñas se concentran en el grupo 3, lo que significa que han definido algunos procesos que les han permitido obtener ventajas competitivas y capacidad de adaptación y adecuación a la demanda, pero los desarrolla de forma fragmentada y esporádica. De otra parte, el 32,9 % de las pymes de Tunja y el 31.5 % de las medianas

se concentran en el grupo 4, ya que estas pymes tienen definidos y estructurados algunos procesos que les han permitido obtener ventajas competitivas y capacidad de adecuación ante la demanda. En cuanto al sector económico, la concentración se da en el grupo 5, con un 40 % en el sector secundario, dejando ver que estas pymes han mejorado algunos de los procesos previamente acogidos. Eso les ha permitido obtener ventajas competitivas y capacidad de adaptación a la demanda.

En la Figura 5.4 se presenta el resultado del proceso de propiedad intelectual; el factor diferenciador o valor agregado de los productos o procesos propios y las fases en que se encuentra cada uno de ellos; la facilidad de adaptabilidad del desarrollo tecnológico; y, por último, la infraestructura que posee la pyme frente a la demanda.

Figura 5.4
Innovación y jalonamiento competitivo (INJ), parte B



En el estado del proceso de propiedad intelectual se resalta una alta concentración en el grupo 1, distribuida en un 95 % en Duitama, un 75 % de Sogamoso y un 70,5 % de Tunja. En tamaño, el 78,9 % son medianas y el 74,5 % pequeñas. En cuanto al sector económico, el 87,5 % es primario, el 75,6 % terciario y el 60 % secundario. Las pymes que integran este grupo no reflejan interés alguno en el estado del proceso de su propiedad intelectual, ni contemplan fortalecerlo en un futuro cercano. Un dato a resaltar es que ninguna empresa ha logrado

establecerse en un grupo 5, lo que expresa que no han podido implementar o mejorar procesos que les ayuden a identificar y fortalecer el estado del proceso de su propiedad intelectual.

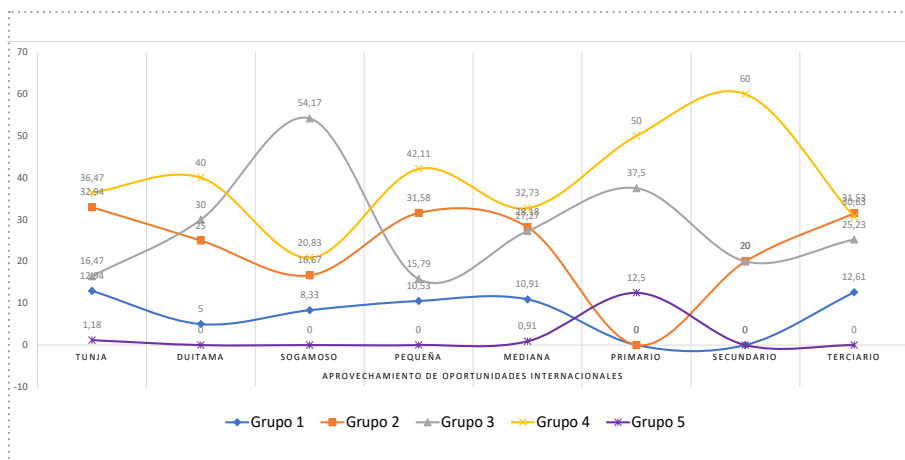
Sobre el factor diferenciador o valor agregado de los productos o procesos propios y las fases en que se encuentra cada uno de ellos, los resultados muestran que el 68,2 % de las pymes en Tunja, el 66,6 % de Sogamoso y el 65 % de Duitama, el 69 % de las pequeñas y el 57,8 % de las medianas, el 100 % del sector primario, el 50 % del secundario y el 66,6 % del terciario se localizan en el grupo 1. Esto significa que estas pymes no están interesadas en generar un factor diferenciador o un valor agregado de los productos o procesos propios, y no pretenden identificar las fases en que se halla cada uno; tampoco contemplan generar ese factor en un futuro cercano. En el grupo 2 se encuentra el 21 % de las empresas medianas y el 19 % de las pequeñas; por región, el 30 % son de Duitama, el 18,8 % de Tunja, lo que revela que estas pymes han contemplado generar en el corto y mediano plazo un factor diferenciador o valor agregado de los productos o procesos propios, y se plantean identificar las fases en que se encuentra cada uno de esos factores. En el grupo 3 está el 20,8 % de las pymes en Sogamoso y el 30 % del sector secundario, lo que refleja que estas pymes han definido algunos procesos que les han permitido generar un factor diferenciador o valor agregado de los productos o procesos propios, e identificar las fases en que se ubica cada uno, pero los desarrollan de forma fragmentada y esporádica. Por otro lado, ninguna empresa ha podido establecerse en el grupo 5 porque no han podido implementar o mejorar sus procesos sobre el tema en cuestión.

En cuanto a la facilidad de adaptabilidad del desarrollo tecnológico y la infraestructura que posee la pyme frente a la demanda, el 52,9 % de las pymes de Tunja, el 51,8 % de las pequeñas y el 53,1 % del sector terciario se concentran en el grupo 4; esto expresa que las pymes tienen definidos y estructurados procesos de adaptabilidad al desarrollo tecnológico y la infraestructura que posee la pyme frente a la demanda. Cabe resaltar que el 50 % de las pymes de Duitama, el 42,1 % de las medianas y el 60 % del sector secundario se instalan en el grupo 3, es decir, han definido algunos procesos con el fin de prepararse con desarrollo tecnológico e infraestructura para enfrentar la demanda, aunque lo hagan de modo fragmentado y esporádico.

Hay que agregar que el 6,3 % de las pymes del sector terciario, el 6,3 % de las pequeñas empresas y el 8,2 % de las que están vinculadas con Tunja se ubican en el grupo 5, lo que permite inferir una tendencia para mejorar algunos de los procesos que ya tienen implementados para generar facilidad y adaptabilidad del desarrollo tecnológico y la infraestructura frente a la demanda.

Relacionamiento interno y externo (RIE). En esta capacidad solo se analizó el interés de la empresa por aprovechar las oportunidades de internacionalización, por ejemplo, de exportación, que se ofrecen en el entorno.

Figura 5.5
Relacionamiento interno y externo (RIE)

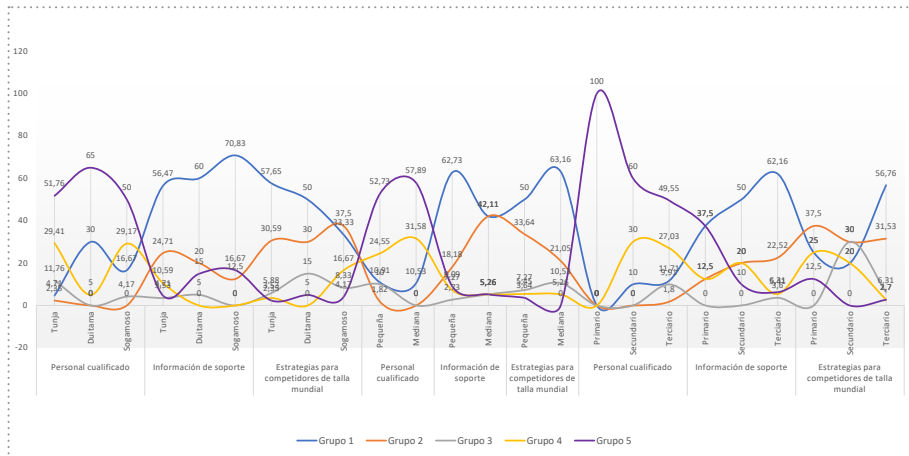


En el aprovechamiento de oportunidades internacionales, el 60 % de las pymes del sector secundario, el 50 % del primario, el 42 % de pymes pequeñas, el 32.75 % de la mediana y el 40 % de pymes de Duitama se concentran en el grupo 4. Esto revela que estas pymes han definido y estructurado procesos para aprovechar oportunidades internacionales. De otro lado, el 54.1 % de las pymes de Sogamoso se integra en el grupo 3, lo que indica lo mismo que el dato anterior, pero a través de una aplicación más fragmentada y esporádica.

Por su parte, el 31,5 % de las pymes del sector terciario se concentran en el grupo 2, lo que permite afirmar que estas pymes han contemplado la apertura de nuevos procesos con miras a aprovechar las oportunidades internacionales en el corto y mediano plazo. En complemento, el 12.5 % de las pymes del sector primario, el 1.1 % de las que hacen parte de la jurisdicción de Tunja y el 0.9 % de las medianas se concentraron en el grupo 5; con base en ello, se puede decir que son pymes que han mejorado algunos de los procesos ya implementados con el fin de aprovechar oportunidades internacionales.

Sociedades de conocimiento (SC). En esta capacidad se evaluó la cualificación del personal para comunicarse con otros países y culturas en búsqueda de mercados; además, se tuvo en cuenta el nivel de documentación de la pyme para afrontar las actividades de internacionalización y la aplicación de estrategias para interactuar con competidores de talla mundial.

Figura 5.6
Información y sociedad del conocimiento



Respecto a la cualificación del personal para comunicarse con otros países y culturas, en búsqueda de mercados, se identificó que el 100 % de las pymes del sector primario, el 60 % de las del sector secundario, el 49.5 % del sector terciario, el 65 % de las de Duitama, el 51.7 % de las de Tunja y el 50 % de las de Sogamoso, el 57.8 % de las medianas

y el 52.7 % de las pequeñas se concentraron en el grupo 5, este sería un indicador de que las pymes de la lista han mejorado algunos de los procesos ya implementados que les permiten cualificar al personal para comunicarse con otros países y culturas en busca de mercados.

Por otra parte, el 31.5 % de las empresas medianas, el 24.5 % de las pequeñas, el 30 % de las del sector secundario, el 27 % del terciario, el 29.4 % de las de Tunja y el 29.1 % de las de Sogamoso se vinculan al grupo 4, lo que permite identificar que estas pymes han definido y estructurado procesos que les permiten cualificar a su personal para comunicarse con otros países y culturas en pro de hallar nuevos mercados. Cabe resaltar que el 30 % de las pymes de Duitama, el 16.6 % de las de Sogamoso y 4.7 % de las de Tunja, el 11.7 % del sector terciario, el 10 % del secundario, el 10.9 % de tipo pequeña y el 10.5 % de las medianas se han concentrado en el grupo 1. Con base en lo anterior, se puede observar que estas pymes no pretenden cualificar al personal para comunicarse con otros países y culturas para rastrear nuevos mercados.

En cuanto a la documentación de la pyme para afrontar las actividades de internacionalización se observó que el 70.8 % de las pymes en Sogamoso, el 60 % de las de Duitama, el 56.4 % de las de Tunja, el 62.7 % de las pequeñas, el 42.1 % de las medianas y el 62.1 % del sector terciario, así como el 50 % de las del secundario y el 37.5 % de las del primario, se han integrado en el grupo 1. Este dato revela que son pymes que no tienen la intención de documentarse con información que les permita afrontar las actividades de internacionalización, y que tampoco lo contemplan para su futuro próximo. Se resalta que el 42,1 % de las pymes de tipo mediana, el 18.1 % de las pequeñas, el 22.5 % de las del sector terciario, el 20 % de las del secundario, el 24.7 % de las pymes de Tunja y el 20 % de las de Duitama se han agremiado en el grupo 2. Esto muestra que no se han animado a iniciar procesos de información en pro de realizar actividades tendientes a la internacionalización a corto y mediano plazo.

Se resalta que el 37.5 % de las pymes del sector primario, el 10 % de las del secundario, el 6.3 % del terciario, el 16.6 % de las de Sogamoso, el 15 % de las de Duitama, el 4.7 % de las de Tunja, el 9 % de las de tipo pequeña y el 5.2 % de las medianas se han reunido en el grupo 5, lo

que las ubica en la posición más alta de la escala, ya que han optimizado algunos procesos que les permiten documentarse con información para sacar provecho de la internacionalización.

En relación con las estrategias para entrar o participar con competidores de talla mundial, el 63.1 % de las medianas, el 50 % de las pequeñas, el 57.6 % de las pymes en Tunja, el 50 % de las de Duitama y el 56.7 % de pymes del sector terciario se ubican en el grupo 1, es decir, no desean establecer estrategias para entrar en contacto con competidores de talla mundial, ni siquiera lo contemplan para su futuro cercano. De otra parte, el 37.5 % de las pymes del sector primario, el 31.5 % del terciario, el 30 % del secundario, el 33.6 % de tipo pequeña, el 21 % de las medianas, así como el 37.5 % de las de Sogamoso, el 30.5 % de las de Tunja y el 30 % de las de Duitama, se concentran en el grupo 2. Apenas puede decirse que han contemplado establecer estrategias para dialogar con competidores de talla mundial en el corto y mediano plazo. Cabe agregar que el 30 % de las pymes del sector secundario y el 15 % de las de Duitama se han concentrado en el grupo 3, de ahí que se infiera que estas pymes han definido y estructurado algunos procesos para establecer estrategias para entrar o participar con competidores de talla mundial (con mayor interés que las del grupo anterior).

A manera de resumen, por cada grupo (que representa el grado de desarrollo y consolidación de las capacidades) se establece el nivel de concentración de las empresas para cada una de las catorce variables analizadas. El nivel de concentración se refiere a la cantidad de empresas que se registran en cada grupo, por categoría, el cual se pondera a través de cinco escalas: muy baja, baja, media, media-alta y alta. Este recuento permite proponer una mirada amplia de las condiciones actuales en las que las empresas estudiadas han desarrollado y consolidado, o no, cada variable (por cada categoría de capacidades) con miras a procesos de internacionalización.

Figura 5.7

Concentración de las empresas por grupo y variables analizadas

Capacidades estudiadas y variables para cada una	Agrupación de las empresas, según el grado de desarrollo de capacidades				
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
	Empresas que no muestran interés alguno en la internacionalización, ni la contemplan para su futuro cercano	Empresas que han contemplado iniciar procesos de internacionalización en el corto plazo y mediano plazo	Empresas que han definido algunos procesos y los ejecutan de manera fragmentada y esporádica	Empresas que tienen definidos y estructurados procesos de internacionalización	Empresas que han mejorado algunos de los procesos ya implementados para internacionalización
Capacidad humana (CH)					
1. Conocimiento de las oportunidades de internacionalización	Muy baja	Muy baja	Media alta	Alta	Media
2. Necesidades de fortalecimiento en capacidades para la internacionalización	Alta	Media alta	Media	Baja	Muy baja
Desarrollo de productos y procesos (DPP)					
3. Implementación de indicadores y evaluación	Media-alta	Muy baja	Media-alta	Muy baja	Alta

4. Obstáculos logísticos y restricciones del mercado	Alta	Baja	Muy baja	Muy baja	Baja
Capacidad: jalonamiento competitivo e innovación (INJ)					
5. Adaptación al cambio y cantidad de cambios realizados	Muy baja	Media	Media-alta	Alta	Baja
6. Recurso humano formado en innovación en la empresa	Media-alta	Alta	Media	Muy baja	Muy baja
7. Ventaja competitiva y adecuación a la demanda	Muy baja	Media	Media-alta	Media	Media
8. Estado del proceso de propiedad intelectual	Alta	Media-alta	Media	Muy baja	Muy baja
9. Valor agregado, procesos propios y fases en cada uno	Alta	Media-alta	Media	Muy baja	Muy baja
10. Desarrollo tecnológico adaptable	Baja	Media	Media-alta	Media-alta	Muy baja

Capacidad: relacionamiento interno y externo (RIE)					
11. Aprovechamiento de oportunidades para internacionalización (intercambios, misiones, etc.)	Baja	Media	Media-alta	Alta	Baja
Capacidad: información y sociedades del conocimiento (SC)					
12. Personal cualificado y equipado para contactarse con otros países	Baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta
13. Información y documentación de soporte para procesos de internacionalización	Alta	Media-alta	Muy baja	Baja	Baja
14. Estrategias para competidores de talla mundial	Media-alta	Media-alta	Media	Baja	Muy baja

Así, por ejemplo, en las variables 2(CH), 4(DPP), 8(INJ), 9(INJ) y 13(SC), una alta concentración de empresas no muestra interés alguno en aproximarse a procesos de internacionalización (grupo 1), ni lo contempla para su futuro cercano. En otras palabras, el 35 % de las empresas no muestra interés alguno en una variable por cada categoría de capacidades para internacionalización analizadas. De otra parte, en la variable

6(INJ), relacionada con la preparación del personal para procesos de innovación, es donde se registra la más alta concentración de empresas. Contrario al grupo 1, las demás empresas tienen planeado, en el corto y mediano plazo, iniciar procesos de formación de personal en innovación, variable básica para los procesos de internacionalización.

En el grupo 4, la mayor concentración de empresa se encuentra en la variable 5(INJ), lo cual evidencia que muchas empresas ya tienen procesos definidos en cuanto a adaptación al cambio y cantidad de transformaciones realizadas, con miras a procesos de internacionalización. Esto indica que en la categoría de capacidades de innovación y jalonamiento competitivo (IJC) muchas empresas han materializado cambios concretos enfocados en dicho proceso.

En esta lógica, la situación ideal sería que la totalidad de las empresas (en todas las variables) estuvieran concentradas en el grupo 5 o, por lo menos, en el 4. Sin embargo, para el grupo 5 se observa que solo en dos variables 3(DPP) y 12(SC) –es decir, solo el 14 % de las catorce variables en cuestión– registran una alta concentración. Esto manifiesta que gran parte de las empresas ha implementado y mejorado procesos relacionados con indicadores, y ha asignado y fortalecido personal con miras a procesos de internacionalización. Para el grupo 4, la mayor concentración se observa en tres variables: 1(CH), 5(INJ) y 11(RIE), lo que indica que gran parte de las empresas analizadas tienen ya definidos procesos para reconocer aspectos de la internacionalización; por ello han implementado cambios y han aprovechado escenarios enfocados en ese proceso.

La perspectiva analítica de la variable 8(INJ), relativa a la propiedad intelectual, deja ver que la mayor concentración de empresas está en el grupo 1; y la menor, en los grupos 4 y 5. Significa esto que son muy pocas las empresas que han definido y mejorado procesos relativos al tema con miras a la internacionalización. Por el contrario, son muchas las que no muestran interés alguno en el mismo tema.

En fin, son diversas las interpretaciones que se pueden extraer de la valoración global de las actuales circunstancias que arroja esta investigación, a partir del resumen que se presenta en la Figura 5.7. Aún más cuando se precisa con cifras, solo como ejemplo: en las variables

3(DPP) y 12(SC) hay 58 y 69 empresas, respectivamente, en el grupo 5. Eso indica que, aunque se está relativamente lejos de una situación ideal, al menos en estas dos variables ya hay una alta concentración de empresas que están en un óptimo camino hacia procesos de internacionalización de forma consciente y deliberada. Datos más precisos, producto de esta investigación, serán objeto de una posterior publicación.

5. Conclusiones

Como se evidencia en la investigación, la mayor parte de las capacidades que involucran la I4.0 se encuentran en los grupos 1, 2 y 3, lo cual significa que para procesos de internacionalización las barreras son altas para la mayoría de las empresas que hicieron parte del estudio. Sin embargo, la Industria 4.0 ofrece una serie de beneficios a las empresas, relacionadas, por ejemplo, con eficiencia, velocidad, calidad, producción personalizada y costos reducidos, resultados que se pueden lograr a través de la adaptación inicial de las empresas (Duman y Akdemir, 2021), lo que a su vez hace visible una de las necesidades tecnológicas de adaptación más urgentes de la actualidad para el tejido empresarial de la región.

Si bien dentro de la investigación tan solo el 8 % de las empresas son del sector secundario, los datos revelan que las capacidades DPP y INJ están en el grupo 2. Eso significa que estas empresas han contemplado iniciar procesos de internacionalización en el mediano y corto plazo. Lo anterior puede ser explicado en virtud de que se trata de capacidades que involucran barreras técnicas difíciles de superar en países en desarrollo (Elhousseiny y Crispim, 2022; León-García y Bermúdez-Segura, 2021). Esta situación supone una ventaja, en el sentido de que las oportunidades que ofrece la I4.0 pueden motivar a los empresarios, especialmente de empresas pequeñas, a introducirlas en sus procesos de negocio (Horváth y Szabó, 2019).

Una de las variables que menos empresas han consolidado es la que está relacionada con los procesos de propiedad intelectual y formación de recurso humano para emprender procesos innovadores enfocados, ambos, hacia la internacionalización y soportados en la I4.0. Por el

contrario, las variables en las que un número mayor de empresas ha mejorado son aquellas relacionadas con la implementación de indicadores y la cualificación de personal. Esto concuerda con lo hallado en la literatura respecto a la generación de capacidades para el aprovechamiento de ventajas comparativas que un territorio ofrece, combinadas con el fortalecimiento del capital humano para potenciarlas y convertirlas en bienes y servicios que, a su vez, podrán robustecer la competitividad de una industria e insertarla en la economía global.

6. Referencias

- Agostini, L., y Nosella, A. (2020). The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study. *Management Decision*, 58(4), 625-643. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-0973>
- Al-Edenat, M. (2021). Organizational competencies toward digital transformation at the events of disruptive changes: an operational process innovation perspective. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 33(4), 690-710. <https://doi.org/10.1108/CR-05-2021-0081>
- Álvarez-Aros, E. L., y Bernal-Torres, C. A. (2021). Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 93(1). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191290>
- Andersen, A., Larsen, J., Nielsen, K., Brunoe, T., y Ketelsen, C. (2018). *Exploring Barriers toward the Development of Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems for Mass-Customized Products: An Industrial Survey*. [Paper presented at the Springer Proceedings in Business and Economics]. Springer Publishing Company. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77556-2_8
- Ardito, L., Cerchione, R., Mazzola, E., y Raguseo, E. (2021). Industry 4.0 transition: a systematic literature review combining the absorptive capacity theory and the data-information-knowledge hierarchy. *Journal of Knowledge Management*, 26(9), 2222-2254. <https://doi.org/10.1108/JKM-04-2021-0325>

- Arteaga, J., García, A., y Miranda, M. (2017). La estrategia de internacionalización de la empresa. En J. Arteaga (Ed.), *Manual de Internacionalización. Técnicas y herramientas necesarias para afrontar con éxito el proceso de internacionalización*. ICEX.
- Autio, E., Sapienza, H. J., y Almeida, J. G. (2000). Effects of Age at Entry, Knowledge Intensity, and Imitability on International Growth. *The Academy of Management Journal*, 43(5), 909-924. <https://doi.org/10.2307/1556419>
- Avdeeva, E., Averina, T., Butyrina, N., y Perevalova, O. (2021). Transformation of the industrial sector into an information-networked environment within industry 4.0: Prospects and challenges. *AIP Conference Proceedings* 2402(1), e040024. <https://doi.org/10.1063/5.0071718>
- Bag, S., Gupta, S., y Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, (231), e107844. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844>
- Bal, H. Ç., y Erkan, Ç. (2019). Industry 4.0 and competitiveness. *Procedia computer science*, (158), 625-631. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.096>
- Balouei Jamkhaneh, H., Shahin, A., Parkouhi, S. V., y Shahin, R. (2022). The new concept of quality in the digital era: a human resource empowerment perspective. *TQM Journal*, 34(1), 125-144. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0030>
- Becker, G. (1975). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Columbia University Press.
- Benzidia, S., Makaoui, N., y Subramanian, N. (2021). Impact of ambidexterity of blockchain technology and social factors on new product development: A supply chain and Industry 4.0 perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, (169). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120819>

- Bettiol, M., Capestro, M., De Marchi, V., Di Maria, E., y Sedita, S. (2020). Industrial districts and the fourth industrial revolution. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 31(2), 12-26. <https://doi.org/10.1108/CR-12-2019-0155>
- Bezchinsky, G. (2003). *Internacionalización y desarrollo de mercados. Aportes para una estrategia PyME en Argentina*. CEPAL.
- Bienhaus, F., y Haddud, A. (2018). Procurement 4.0: factors influencing the digitisation of procurement and supply chains. *Business Process Management Journal*, 24(4), 965-984. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-06-2017-0139>
- Calış Duman, M., y Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, (167), <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120615>
- Cassetta, E., Monarca, U., Dileo, I., Di Bernardino, C., y Pini, M. (2020). The relationship between digital technologies and internationalisation. Evidence from Italian SMEs. *Industry and Innovation*, 27(4), 311-339. <https://doi.org/10.1080/13662716.2019.1696182>
- Ciffolilli, A., y Muscio, A. (2018). Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies. *European Planning Studies*, 26(12), 2323-2343. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1529145>
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. McGraww Hill.
- Corò, G., Plechero, M., Volpe, M. (2020). Driving factors and effects on SMEs of the adoption of Industry 4.0 technologies: An investigation of Veneto Region. *L'industria*, (2), 215-237.
- Cotrino, A., Sebastián, M., y González-Gaya, C. (2021). Industry 4.0 HUB: A collaborative knowledge transfer platform for small and medium-sized enterprises. *Applied Sciences*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125548>

- Dalmarco, G., Teles, V., Uguen, O., y Barros, A. C. (2021). Digital Innovation Hubs: One Business Model Fits All? *Working Conference on Virtual Enterprises*, (629), 441-448. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85969-5_41
- Davenport, S. (2005). Exploring the role of proximity in SME knowledge-acquisition. *Research Policy*, 34(5), 683-701. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.03.006>
- Delios, A., y Beamish, P. (2001). Survival and Profitability: The Roles of Experience and Intangible Assets in Foreign Subsidiary Performance. *Academy of Management Journal*, 44(5), 1028-1038. <https://doi.org/10.2307/3069446>
- Dosi, G., Nelson, R., Winter, S., y Winter, S. (2000). *The nature and dynamics of organizational capabilities*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0199248540.001.0001>
- Drucker, P. (1993). *La sociedad postcapitalista*. Editorial Sudamericana.
- Duman, M., y Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, (167), e120615. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120615>
- Elhusseiny, H. M., y Crispim, J. (2022). SMEs, Barriers and Opportunities on adopting Industry 4.0: A Review. *Procedia Computer Science*, (196), 864-871. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>
- Fernández-Ortiz, R., Ortiz, J. A., y San Emeterio, M. C. (2015). Factors that foster export commitment: An empirical study in small and medium-sized enterprises. *Engineering Economics*, 26(3), 272-283. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.3.6456>
- Ferrucci, L., Gigliotti, M., y Runfola, A. (2018). Italian firms in emerging markets: relationships and networks for internationalization in Africa. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, 30(5), 375-395. <https://doi.org/10.1080/08276331.2017.1412611>

- Franco, M., Esteves, L., y Rodrigues, M. (2020). Clusters as a Mechanism of Sharing Knowledge and Innovation: Case Study from a Network Approach. *Global Business Review*. <https://doi.org/10.1177/0972150920957270>
- Galeano, M. (2004). *Diseño de proyectos en la investigación cualitativa*. Universidad EAFIT.
- Garzoni, A., De Turi, I., Secundo, G., y Del Vecchio, P. (2020). Fostering digital transformation of SMEs: a four levels approach. *Management Decision*, 58(8), 1543-1562. <https://doi.org/10.1108/MD-07-2019-0939>
- Gashi, P. (2014). Human capital and export decisions: The case of small and medium enterprises in Kosovo. *Croatian Economic Survey*, 16(2), 91-120.
- Gerschütz, B., Sauer, C., Kormann, A., Wallisch, A., Mehlstäubl, J., Alber-Laukant, B., Schleich, B., Paetzold, K., Rieg, F., y Wartzack, S. (2021). *Towards customized digital engineering: Challenges and potentials of adapting digital engineering methods for the product development process*. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung.
- Götz, M. (2020). Primer on the cluster impact on internationalisation in the form of FDI in the time of industry 4.0. *European Spatial Research and Policy*, 27(1), 195-220. <https://doi.org/10.18778/1231-1952.27.1.09>
- Götz, M. (2021). *Clusters, digital transformation and regional development in Germany*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003005506>
- Government German Federal Report. (2014). *The new High-Tech Strategy-Innovations for Germany*. Federal Ministry of Education Research Berlin.
- Guerrieri, P., y Pietrobelli, C. (2004). Industrial districts' evolution and technological regimes: Italy and Taiwan. *Technovation*, 24(11), 899-914. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00048-8)

- Gulanowski, D., Papadopoulos, N., y Plante, L. (2018). The role of knowledge in international expansion toward an integration of competing models of internationalization. *Review of International Business and Strategy*, 28(1), 35-60. <https://doi.org/10.1108/RIBS-09-2017-0077>
- Harris, S., y Wheeler, C. (2005). Entrepreneurs' Relationships for Internationalization: Functions, Origins and Strategies. *International Business Review*, (14), 187-207. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2004.04.008>
- Henao, R., y Vásquez, J. (2013). Aproximación metodológica al diseño de un instrumento para la realización de diagnósticos sobre las capacidades organizacionales con fines de internacionalización en las pequeñas y medianas empresas del municipio de Medellín (sector: tecnología e innovación). *Revista Civilizar de Empresa y Economía*, 4(8). <https://doi.org/10.22518/2462909X.261>
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., y Baptiste, P. (2008). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill.
- Horváth, D., y Szabó, R. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, (146), 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Inan, G., y Bititci, U. (2015). Understanding organizational capabilities and dynamic capabilities in the context of micro enterprises: a research agenda. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, (210), 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.371>
- Jacquez-Hernández, M., y Torre, V. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 6(20), 61-78.
- Jankowska, J. (2011). Measures of company internationalization. *Business and non-profit organizations facing increased competition and growing customers' demands*, (10), 419-429.

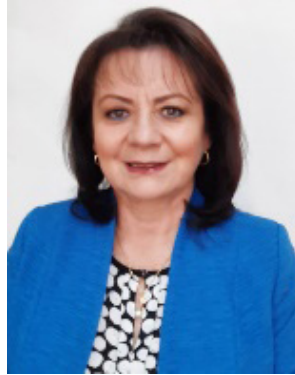
- Jermittiparsert, K., y Boonratanakittiphumi, C. (2019). The supply chain management, enterprise resource planning systems and the organisational performance of thai manufacturing firms: Does the application of industry 4.0 matter? *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 8(8), 82-102.
- Khin, S., y Mui Hung, D. (2022). Identifying the driving and moderating factors of Malaysian SMEs' readiness for Industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(4), 761-779. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2025619>
- Knight, G., y Lieschb, P. (2002). Information internalisation in internationalising the firm. *Journal of Business Research*, 55(12), 981-995. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(02\)00375-2](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(02)00375-2)
- León-García, O., y Bermúdez-Segura, M. (2021). Barriers and driving forces for the implementation of Industry 4.0 in organizations: a state of the art. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(3), 451-466. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n3.2021.13343>
- Ley 905 de 2004. Por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. 2 de agosto de 2004. D.O. No. 45.628.
- Martínez Sánchez, J. (2001). Las ondas largas de Kondratieff. *Filosofía, política y economía en el Laberinto*, (5), 45-60.
- Meza, L. (2016). Internacionalización y creación de nuevos productos y procesos en la industria manufacturera mexicana. *Estudios Económicos*, 31(2), 235-263. <https://doi.org/10.24201/ee.v31i2.17>
- Miocevic, D., y Crnjak-Karanovic, B. (2010). New Realities of the SME Internationalization: A Capability Perspective. *Ekonomika Istrazivanja*, (23), 43-56. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2010.11517422>

- Mubarik, M., Devadason, E., y Govindaraju, C. (2020). Human capital and export performance of small and medium enterprises in Pakistan. *International Journal of Social Economics*, 47(5), 643-662. <https://doi.org/10.1108/IJSE-03-2019-0198>
- Nguyen, A. T. (2022). Industry 4.0 competencies: a model for the Vietnamese workforce. *Industrial and Commercial Training*, 54(2), 201-219. <https://doi.org/10.1108/ICT-08-2021-0057>
- Pacaux-Lemoine, M. P., Sallak, M., Sacile, R., Flemisch, F., y Leitão, P. (2022). Introduction to the special section humans and industry 4.0. *Cognition, Technology and Work*, 24(1), 1-5. <https://doi.org/10.1007/s10111-022-00696-1>
- Pawlyszyn, I., Fertsch, M., Stachowiak, A., Pawlowski, G., y Oleśków-Szlapka, J. (2020). The model of diffusion of knowledge on industry 4.0 in Marshallian clusters. *Sustainability*, 12(9), e3815. <https://doi.org/10.3390/su12093815>
- Pfeiffer, S. (2016). Robots, industry 4.0 and humans, or why assembly work is more than routine work. *Societies*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/soc6020016>
- Restrepo, J., y Vanegas, J. (2015). Internacionalización de las pymes: análisis de recursos y capacidades internas mediante lógica difusa. *Contaduría y administración*, (60), 836-863. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.07.008>
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la Industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177-191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Ruohomaa, H., Kantola, J., y Salminen, V. (2018). Value network development in industry 4.0 environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60372-8_4
- Schumpeter, J. (1939). *Business cycles. A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process* (Vol. 1). McGraw-Hill.

- Suh, Y., y Kim, M. S. (2014). Internationally leading SMEs vs. internationalized SMEs: Evidence of success factors from South Korea. *International Business Review*, 23(1), 115-129. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2013.03.002>
- Surie, G. (2020). Strategies for competitiveness in a digital world. *Towards the Digital World and Industry X.0 - Proceedings of the 29th International Conference of the International Association for Management of Technology*, IAMOT 2020.
- Thekkoote, R. (2022). Enabler toward successful implementation of Quality 4.0 in digital transformation era: a comprehensive review and future research agenda. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 39(6), 1368-1384. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0206>
- Villarreal, O. (2008). La internacionalización de la empresa: el modelo de las diez estrategias. *Revista Internacional Administración y Finanzas*, 1(1), 67-81.
- Vuorio, A., Torkkeli, L., y Sainio, L. M. (2020). Service innovation and internationalization in SMEs: antecedents and profitability outcomes. *Journal of International Entrepreneurship*, 18(1), 92-123. <https://doi.org/10.1007/s10843-019-00266-z>
- Wijewardhana, G., Weerabahu, S., Nanayakkara, J., y Samaranayake, P. (2021). New product development process in apparel industry using Industry 4.0 technologies. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(8), 2352-2373. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2020-0058>
- Yoon, J., Sung, S., y Ryu, D. (2020). The role of networks in improving international performance and competitiveness: Perspective view of open innovation. *Sustainability*, 12(3), e1269. <https://doi.org/10.3390/su12031269>
- Zimmermann, K. (1987). Trade and dynamic efficiency. *Kyklos*, 40(1), 73-87. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6435.1987.tb02399.x>

Sobre los autores

Hilda Lucía Jiménez Orozco



Docente Asistente del programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Administradora Industrial, UPTC. Especialista en Gerencia Social, Universidad Antonio Nariño. Magíster en Administración Económica y Financiera, Universidad Tecnológica de Pereira. Directora del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (Grindep) de la UPTC, Facultad Seccional Duitama. Coordinadora de la línea de investigación en sistemas de gestión gerencial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9316-9136>

Correo electrónico: hilda.jimenez@uptc.edu.co

Sandra Mimiya Gómez Ángel



Directora del programa de Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Administradora Industrial, UPTC. Magíster en Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Javeriana. Integrante del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (Grindep). Líneas de investigación: producción y operaciones, sistemas de gestión gerencial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-2770>

Correo electrónico: sandra.gomez02@uptc.edu.co

Flor Marlén Ávila Guerrero



Docente del programa en Administración Industrial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Administradora Industrial, UPTC. Magíster en Administración, Universidad Nacional de Colombia. Investigadora en categoría Junior (en Minciencias). Integran-te del Grupo de Investigación en Innovación y Desarrollo Productivo (Grindep). Línea de investigación: sistemas de gestión gerencial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-4401>

Correo electrónico: flormarlen.avila@uptc.edu.co

Gladys Yaneth Mariño Becerra

Administradora de Empresas y Especialista en Finanzas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Magíster en Administración de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y del Instituto Tecnológico de Monterrey. Cuenta con doce años de experiencia profesional a nivel directivo y veintiséis años de experiencia en docencia universitaria e investigación en la UPTC y en la Universidad de Cundinamarca. Es consultora en las áreas de emprendimiento, estrategia, liderazgo, asociatividad, finanzas y gestión empresarial. Directora del Grupo de Investigación en Gerencia del Valor y las Finanzas (GEVAFI). Línea de investigación: creación de valor en las organizaciones.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-7100>

Correo electrónico: gladys.marino01@uptc.edu.co

Néstor Josué Franco González



Administrador de Empresas. Especialista en Alta Gerencia en Mercadotecnia y Magíster en Administración de Organizaciones, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Docente e investigador de la UPTC y la Universidad de Cundinamarca. Es consultor en las áreas de emprendimiento, estrategia, gerencia, innovación, mercados, marketing, gastronomía, liderazgo transaccional y transformacional. También es integrante del Grupo de Investigación en Gerencia del Valor y las Finanzas (GEVAFI).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3026-7510>

Correo electrónico: nestor.franco@uptc.edu.co

Nubia Yaneth Gómez Velasco



Licenciada en Matemáticas y Estadística. Especialista y Magíster en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia. Doctora en Ciencias de la Educación. Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Autora de diversas publicaciones científicas: artículos y libros relacionados con el análisis de la producción científica, y la aplicación y modelamiento estadístico en campos de formación educativa y otras áreas. Integrante del Grupo de Investigación en Estadística Gamma y del Grupo Hisula. Docente investigadora de programas de doctorado, maestrías y pregrado de la UPTC. Asesora estadística en proyectos de investigación y tesis doctorales. Cuenta con experiencia en cargos administrativos, ha sido Directora de Investigaciones de la UPTC y Directora de Investigación y Extensión de la Facultad de Ciencias. En calidad de encargada, ha sido Vicerrectora de Investigación y Extensión y Coordinadora Académica del Doctorado en Ciencias de la Educación Rudecolombia, UPTC.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7745-1721>

Correo electrónico: nubia.gomez@uptc.edu.co

Darío J. Quiroga Parra



Ingeniero Industrial e Ingeniero de Organizaciones. MSc en Administración de Empresas, MSc en Knowledge Management y MSc en Astronomy and Astrophysics. PhD en Economía Digital e Información y Sociedad del Conocimiento (TIC, Innovación e Industria 4.0). Profesor investigador Asociado (MC) de tiempo completo en la Universidad Cooperativa de Colombia, Cali. Cuenta con veinticinco años de experiencia académica en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali; en el área de doctorado en la Universidad EAN y en maestrías de la Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Es integrante de los Grupos de Investigación: CACE, i2TIC, InnovaTIC y Empresas AL. Es autor de diecisiete artículos científicos y siete libros académicos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-0765>

Correo electrónico: dario.quirogap@campusucc.edu.co

Sandra Milena Zambrano Vargas



Ingeniera Industrial y Especialista en Gerencia del Talento Humano de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Magíster en Administración de la Universidad Nacional de Colombia. Doctora en Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Docente Asociada de la Escuela de Administración de Empresas y de la Maestría en Administración de Organizaciones de la UPTC, sede Tunja. Investigadora en categoría Asociada (en Minciencias), integrante del Grupo de Investigación Investigadores para el Desarrollo Empresarial y Agroindustrial Sostenible (IDEAS), adscrito a la Escuela de Administración de Empresas, sede Tunja.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3492-6971>

Correo electrónico: sandra.zambrano01@uptc.edu.co

Rafael Jaime Carmona López

Administrador de Empresas. Especialista en Gerencia del Desarrollo Humano. Magíster en Administración, MBA y Doctor en Ciencias de Administración. Docente investigador desde hace veinte años, adscrito a la Universidad Pontificia Bolivariana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2171-4542>

Correo electrónico: rafael.carmona@upb.edu.co

Jesús María Gutiérrez Montes

Administrador de Empresas de la Universidad Pontificia Bolivariana. Docente de la Escuela Colombiana de Mercadotecnia de la Universidad Pontificia Bolivariana.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2080-7832>

Correo electrónico: jesus.gutierrez@upb.edu.co

Patricia Pérez Crignola

Ingeniera Comercial, Universidad de Tarapacá. Magíster en Informática Educativa, Universidad Tecnológica Metropolitana. Docente Asociada en las Universidades Diego Portales y UTEM, de Chile. Directora de Escuela y Contadora Auditora Vespertina.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4668-929X>

Correo electrónico: patricia.perez@udp.cl

Fabiola Andrea Argandoña Gómez

Magíster en Administración y Dirección de Empresas. Doctora en Ciencias de la Administración. Docente investigadora desde hace quince años. Actualmente es académica de la Universidad de Santiago de Chile.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0137-3186>

Correo electrónico: fabiola.argandona@usach.cl

Nely Pérez Martínez

Estudiante del Doctorado en Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. Magíster en Administración de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Gerencia Financiera de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y Administradora de Empresas de la UPTC. Docente del Área Administrativa de la Escuela de Administración de Empresas. Sus intereses investigativos están relacionados con los estudios organizacionales y las temáticas relacionadas con la comprensión de la organización como entidad; sus publicaciones están relacionadas con el desarrollo de la metáfora como herramienta para dicha comprensión. Ha publicado investigaciones relacionadas con la dinámica del empleo en la región, la competitividad y otros temas relacionados con la innovación y la gestión del conocimiento. Es investigadora principal de proyectos financiados por Minciencias y la Dirección de Investigaciones de la UPTC. También trabaja como consultora en temas de fortalecimiento empresarial en la región, prospectiva estratégica y formulación y gestión de proyectos. Es integrante del Grupo de Investigación CREPIB.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9299-1272>

Correo electrónico: rosa.perez@uptc.edu.co

Iván David Ruiz Rosas



Administrador de Empresas. Estudiante de la Maestría en Administración, con énfasis en Innovación, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Investigador y consultor del Centro Regional de Gestión para la productividad y la Innovación de Boyacá (CREPIB). Sus intereses investigativos están relacionados con la gestión de la propiedad intelectual, la gestión de la innovación y el fortalecimiento de capacidades organizacionales. Ha realizado procesos de vigilancia comercial, benchmarking, gestión de proyectos, y planeación y prospectiva para varias empresas del departamento de Boyacá. A su vez, ha realizado procesos de apoyo en consultoría en temas de propiedad intelectual.

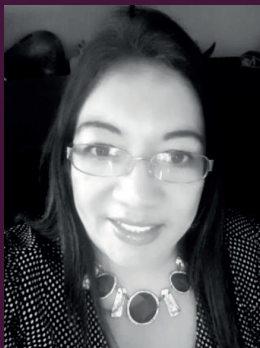
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-2693>

Correo electrónico: ivandavid.ruiz@uptc.edu.co



Se terminó de editar el libro
impreso en agosto de 2023 en los
talleres de Editorial Jotamar S.A.S.
Tunja, Boyacá, Colombia.

Sandra Milena Zambrano Vargas



Ingeniera Industrial y Especialista en Gerencia del Talento Humano de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Magíster en Administración de la Universidad Nacional de Colombia. Doctora en Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro (México). Docente Asociada de la Escuela de Administración de Empresas y de la Maestría en Administración de Organizaciones de la UPTC, sede Tunja. Investigadora en categoría Asociada (en Minciencias), integrante del Grupo de Investigación Investigadores para el Desarrollo Empresarial y Agroindustrial Sostenible (IDEAS), adscrito a la Escuela de Administración de Empresas, sede Tunja.

ORCID:

<https://orcid.org/0000-0003-3492-6971>

Correo electrónico:

sandra.zambrano01@uptc.edu.co

COLECCIÓN INVESTIGACIÓN UPTC N° 276

La Cuarta Revolución Industrial, caracterizada por la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), la robótica, el internet de las cosas y la computación en la nube, se configura para la gestión organizacional en un ambiente sin precedentes, que augura nuevos procesos de optimización. Algunos beneficios de esas dinámicas de cualificación son las siguientes: la toma de decisiones cuenta con el análisis de grandes cantidades de datos que señalan tendencias y patrones, las secuencias productivas transitan hacia la automatización y la fabricación aditiva, la gestión de suministros asegura su confiabilidad y eficiencia con la cadena de bloques, la gestión humana y la gestión de la relación con stakeholders acude a la realidad aumentada para hacer más eficaces las interacciones. Esta obra representa una aproximación a las hipótesis y desarrollos investigativos que se están planteando, desde la academia, sobre las disrupciones que supone la Cuarta Revolución Industrial en el campo organizacional.

