

Marco de trabajo basado en análisis multivariante y minería de texto para identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de

Santander

Andrea Melissa Andrade Rueda y María Paula Flórez Rueda

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Industrial

Director

Henry Lamos Díaz

Ph.D. Física-Matemática

Codirector

David Esteban Puentes Garzón

MSc. Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2022

### **Agradecimientos**

A Dios, por darnos la salud, sabiduría y oportunidad para llegar hasta acá.

A nuestros padres, por su guía, amor y sacrificio que nos permitió ser parte de nuestra hermosa *alma mater*.

A nuestra familia por estar presente en cada etapa de nuestras vidas.

A nuestro director, Henry Lamos por compartir su conocimiento, experiencia y orientación a lo largo del proyecto.

A nuestro codirector, David Esteban Puentes, por su disposición a la enseñanza y por orientar a partir de la experiencia y el conocimiento esta investigación.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, que a lo largo de los años nos formaron como personas y profesionales íntegros.

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción .....	17
1. Planteamiento del problema .....	21
2. Objetivos .....	23
2.1 Objetivo General .....	23
2.2 Objetivos Específicos.....	23
3. Metodología .....	24
3.1 Fase I: Planteamiento del problema .....	24
3.2 Fase II: Revisión de literatura .....	24
3.3 Fase III: Muestreo y diseño de la encuesta .....	25
3.4 Fase IV: Recolección de datos .....	26
3.5 Fase V: Análisis de los datos.....	26
3.6 Fase VI: Resultados e inferencias .....	28
3.7 Fase VII: Divulgación .....	29
4. Marco teórico .....	29
4.1 Contexto histórico .....	29
4.2 Cuarta Revolución Industrial .....	31
4.3 Transformación Digital .....	33
4.4 Tecnologías de la Industria 4.0 .....	33
4.4.1 Internet de las cosas.....	33

4.4.2	Sistemas ciberfísicos .....	33
4.4.3	Ciberseguridad .....	34
4.4.4	Cloud computing.....	34
4.4.5	Blockchain.....	34
4.4.6	Inteligencia artificial .....	35
4.4.7	Machine learning.....	35
4.4.8	Big data. ....	36
4.4.9	Realidad virtual y realidad aumentada .....	36
4.4.10	Robots.....	36
4.5	Minería de texto .....	37
4.5.1	Etapas de la minería de texto.....	37
4.6	Métrica TF-IDF .....	38
4.7	Muestreo no probabilístico.....	39
4.8	Alfa de Cronbach .....	39
4.9	Método Lawshe Tristán.....	40
4.10	Análisis multivariante .....	41
4.10.1	Análisis Factorial Exploratorio .....	41
4.10.1.1	Prueba de esfericidad de Bartlett. ....	42
4.10.1.2	Prueba de Kaiser, Meyer, Olkin.....	43
5.	Revisión de literatura .....	43
5.1	Análisis bibliométrico .....	46
5.2	Análisis preliminar de literatura.....	54
5.2.1	Factores influyentes en la adopción de tecnologías 4.0 .....	54

5.2.2	Tecnologías de la Industria 4.0 .....	62
5.2.3	Métodos de recolección y análisis de datos .....	65
6.	Resultados .....	67
6.1	Análisis descriptivo .....	67
6.1.1	Empresas .....	68
6.1.2	Grupos de investigación .....	74
6.2	Análisis preguntas abiertas .....	79
6.2.1	Empresas .....	79
6.2.2	Grupos de investigación .....	81
6.3	Análisis Factorial Exploratorio (AFE) .....	83
6.3.1	Empresas .....	83
6.3.1.1	Transformación Digital .....	85
6.3.1.2	Tecnologías de la Industria 4.0. ....	89
6.3.1.3	Factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0.....	93
6.3.2	Grupos de investigación .....	101
6.3.2.1	Transformación Digital .....	102
6.3.2.2	Tecnologías de la Industria 4.0. ....	106
6.3.2.3	Factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0.....	110
6.4	Minería de texto .....	114
6.4.1	Noticias.....	115
6.4.2	Documentos gubernamentales.....	123
6.5	Marco de trabajo.....	127
7.	Conclusiones .....	129

8. Recomendaciones.....	131
Referencias Bibliográficas .....	133

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Cumplimiento de objetivos del proyecto .....	19
Tabla 2. Ecuaciones de búsqueda y resultados preliminares .....	44
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión.....	44
Tabla 4. Ecuaciones de búsqueda y resultados .....	45
Tabla 5. Asociación de campos a áreas del conocimiento.....	55
Tabla 6. Medidas de tendencia central.....	68
Tabla 7. Estadísticos descriptivos Transformación Digital en empresas.....	86
Tabla 8. Estadísticos descriptivos tecnologías 4.0 en empresas .....	91
Tabla 9. Estadísticos descriptivos factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en empresas.....	99
Tabla 10. Estadísticos descriptivos Transformación Digital en grupos de investigación.....	105
Tabla 11. Estadísticos descriptivos tecnologías 4.0 en grupos de investigación .....	108
Tabla 12. Estadísticos descriptivos factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación.....	113

**Lista de Figuras**

	Pág.
Figura 1. Estructura metodológica de la investigación.....	24
Figura 2. Proceso de Análisis Factorial Exploratorio .....	42
Figura 3. Metodología para revisión de literatura.....	43
Figura 4. Número de documentos publicados por año .....	47
Figura 5. Número de documentos publicados por país.....	47
Figura 6. Autores más referenciados según citas.....	48
Figura 7. Tendencia de las palabras claves de los autores .....	49
Figura 8. Palabras claves.....	50
Figura 9. Nube de palabras .....	51
Figura 10. Diagrama de Sankey.....	52
Figura 11. Porcentaje de documentos por área temática.....	53
Figura 12. Dendrograma .....	54
Figura 13. Principales factores que inciden en la aplicación de tecnologías 4.0 según literatura	55
Figura 14. Principales tecnologías de la Industria 4.0 según literatura .....	62
Figura 15. Principales técnicas de análisis de datos según literatura.....	66
Figura 16. Acercamiento a la Transformación Digital por tamaño de empresa .....	69
Figura 17. Factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 por tamaño de empresa .....	71
Figura 18. Tecnologías 4.0 apropiadas por tamaño de empresa .....	73
Figura 19. Acercamiento a Transformación Digital grupos de investigación de Santander .....	75

Figura 20. Factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación de Santander.....	77
Figura 21. Tecnologías 4.0 apropiadas por grupos de investigación de Santander .....	78
Figura 22. Nube de palabras respuestas abiertas de empresas en Santander .....	81
Figura 23. Nube de palabras respuestas abiertas de grupos de investigación en Santander .....	82
Figura 24. Análisis Paralelo de la Transformación Digital en empresas .....	84
Figura 25. Análisis Paralelo de Tecnologías de la Industria 4.0 en empresas .....	84
Figura 26. Análisis Paralelo factores influyentes en apropiación tecnologías 4.0 en empresas ...	84
Figura 27. Variables que conforman Transformación Digital en empresas .....	85
Figura 28. Puntuaciones del AFE para Transformación Digital en empresas .....	88
Figura 29. Variables que conforman tecnologías 4.0 en empresas.....	89
Figura 30. Puntuaciones del AFE para tecnologías 4.0 en empresas.....	93
Figura 31. Variables que conforman factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en empresas.....	94
Figura 32. Puntuaciones del AFE para factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas.....	100
Figura 33. Análisis Paralelo de la Transformación Digital en grupos de investigación.....	101
Figura 34. Análisis Paralelo de Tecnologías de la Industria 4.0 en grupos de investigación.....	102
Figura 35. Análisis Paralelo factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 grupos de investigación .....	102
Figura 36. Variables que conforman los factores de Transformación Digital en grupos de investigación .....	103
Figura 37. Puntuaciones del AFE para Transformación Digital en grupos de investigación .....	105

Figura 38. Variables que conforman factores de tecnologías 4.0 en grupos de investigación ...	106
Figura 39. Puntuaciones del AFE para tecnologías 4.0 en grupos de investigación .....	109
Figura 40. Variables que conforman cada factor para grupos de investigación .....	110
Figura 41. Puntuaciones del AFE para factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación.....	114
Figura 42. Método del codo para noticias.....	115
Figura 43. Tópico 1: Transformación Digital Empresarial.....	116
Figura 44. Tópico 2: inteligencia artificial en Colombia.....	117
Figura 45. Tópico 3: Colombia hacia una economía digital.....	118
Figura 46. Tópico 4: Habilidades y formación del talento humano en la Industria 4.0.....	119
Figura 47. Tópico 5: Fortalecimiento de clústeres en el país .....	120
Figura 48. Tópico 6: Participación de la mujer en la Ciencia y Tecnología.....	121
Figura 49. Tópico 7: Colombia 4.0.....	122
Figura 50. Tópico 8: Innovación colaborativa en Colombia .....	123
Figura 51. Método del codo para documentos gubernamentales.....	123
Figura 52. Tópico 1: Industria 4.0 en Colombia.....	124
Figura 53. Tópico 2: Acceso a internet y tecnologías digitales en Colombia.....	126
Figura 54. Diagrama de proceso del marco de trabajo .....	127

## Lista de Apéndices

**(Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)**

Apéndice A. Tabla resumen revisión de literatura

Apéndice B. Encuesta

Apéndice C. Prueba de validez de contenido

Apéndice D. Prueba de confiabilidad

Apéndice E. Archivo noticias

Apéndice F. Minería documentos gubernamentales

Apéndice G. Minería noticias

Apéndice H. Análisis descriptivo empresas

Apéndice I. Análisis descriptivo Grupos de investigación

Apéndice J. Análisis preguntas abiertas empresas

Apéndice K. Análisis preguntas abiertas grupos de investigación

Apéndice L. AFE empresas

Apéndice M. AFE grupos de investigación

Apéndice N. Resultados AFE empresas

Apéndice O. Resultados AFE grupos de investigación

Apéndice P. Artículo de divulgación

Apéndice Q. Codificación de variables encuesta

Apéndice R. Marco de trabajo

Apéndice S. Descriptivo AFE empresas

Apéndice T. Descriptivo AFE grupos

Apéndice U. Puntajes AFE empresas

Apéndice V. Puntajes AFE grupos de investigación

Apéndice W. Gráficos de dispersión AFE

## Glosario

**Análisis multivariante:** hace referencia al conjunto de técnicas estadísticas que analizan e interpretan el efecto simultáneo de múltiples variables mediante modelos estadísticos complejos que permiten identificar la participación independiente de cada una en el sistema de relaciones y de esta forma, describir, predecir o explicar los fenómenos que son objeto de interés para la investigación (Meneses, 2019).

**Industria 4.0:** señala la evolución actual de los sistemas, maquinaria, tecnologías y procesos utilizados en el sector industrial mediante el uso de las nuevas tecnologías: sensores, internet de las cosas, comunicación en tiempo real entre las maquinas, fabricación aditiva, blockchain, realidad aumentada, inteligencia artificial, entre otras. El objetivo de la industria 4.0 es promover la automatización de la manufactura, para crear fábricas inteligentes caracterizadas por una intensa capacidad de adaptación, alta eficiencia en el uso de los recursos y buena ergonomía, además de la integración de clientes y aliados empresariales a procesos comerciales y de valor (Serna M., 2017).

**K-Means:** es el algoritmo de clasificación no supervisada para clusterización más conocido y empleado. Para iniciar, es necesario introducir como dato de entrada la cantidad de grupos en que se va a segmentar la población. El agrupamiento se realiza mediante la minimización de la suma de las distancias de cada objeto al centroide de su grupo o clúster (Sinaga & Yang, 2020).

**Lematización:** consiste en hallar el lema correspondiente de una palabra, es decir, la entrada estándar de dicha palabra en un diccionario. De esta manera es posible sintetizar las palabras similares. Se ha demostrado que el uso de algún tipo de preprocesamiento de lematización es

especialmente importante para las lenguas con muchas inflexiones en las diversas tareas del procesamiento del lenguaje natural, como la localización de palabras clave o la recuperación de información (Perdomo Sánchez et al., 2017).

**Minería de texto:** también conocida como el “descubrimiento del conocimiento de los datos”, es una herramienta por medio de la cual es posible identificar nueva información o patrones significativos que no son claros dentro de una serie de documentos. Se caracteriza por ser el texto el origen de los datos (Morgado García, 2016).

**Tecnologías de la Industria 4.0:** entre los pilares tecnológicos de la industria 4.0 se encuentran: las máquinas y sistemas autónomos o robots; el Internet de las Cosas (IoT); la manufactura aditiva, que permite fabricar piezas a partir de la superposición de capas de distintos materiales tomando como referencia un diseño previo, sin moldes, directamente desde un modelo virtual; el Big Data; la computación en la nube; la simulación de entornos virtuales, que permite ajustar y representar virtualmente el funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real antes de ser puestos en marcha; la inteligencia artificial, la ciberseguridad y la realidad aumentada. (Transformación Digital de la Industria 4.0)

## Resumen

**Título:** Marco de trabajo basado en análisis multivariante y minería de texto para identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander.\*

**Autor:** Andrea Melissa Andrade Rueda y María Paula Flórez Rueda \*\*

**Palabras Clave:** Tecnologías 4.0, Industria 4.0, Análisis Multivariante, Minería de texto.

### Descripción:

El desarrollo de la Industria 4.0 ha traído grandes cambios en la forma en que las organizaciones y empresas alrededor del mundo funcionan. Se evidencia que el valor de los datos y las tecnologías ha adquirido gran importancia en los últimos años, a raíz del triunfo de una era marcada por el conocimiento. Por tal motivo, es para las empresas y organizaciones alrededor del mundo un imperativo aprovechar la información valiosa que se encuentra dentro de estos. Sobre este fondo se constituye el desarrollo de un marco de trabajo que permita identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander como el objetivo principal de la presente investigación. Para esto, se diseña una encuesta en Microsoft Forms y se emplean técnicas como el Análisis Factorial Exploratorio y la minería de texto para el procesamiento de los datos recolectados. Este proceso se apoya también de un análisis descriptivo y planteamiento de hipótesis. Entre los principales hallazgos se identifica que la computación en la nube y la analítica de datos son las tecnologías más empleadas por empresas y grupos de investigación en Santander. No obstante, la apropiación de estas tecnologías es aún incipiente. De esto, se concluye que la apropiación de tecnologías 4.0 es un proceso inherente a cada empresa y organización de la región por lo que los avances y factores que puedan influir sobre ellos dependen del contexto en el que se desenvuelven y sus características.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Henry Lamos Díaz. PhD. Física-Matemática. Codirector: David Esteban Puentes Garzón. MSc. Ingeniería Industrial.

### Abstract

**Title:** Framework based on multivariate analysis and text mining to identify the appropriation of Industry 4.0 Technologies in industries and research groups of universities in Santander.\*

**Author(s):** Andrea Melissa Andrade Rueda, María Paula Flórez Rueda<sup>5</sup>

**Key Words:** Technologies 4.0, Industry 4.0, Multivariate Analysis, Text Mining.

**Description:**

The development of Industry 4.0 has brought major changes in the way organizations and companies around the world operate. It is evident that the value of data and technologies has gained great importance in recent years, because of the triumph of an era marked by knowledge. For this reason, it is imperative for companies and organizations around the world to take advantage of the valuable information found within them. Against this background, the development of a framework to identify the appropriation of 4.0 technologies in industries and research groups of universities in Santander is the main objective of this research. For this, a survey is designed in Microsoft Forms and techniques such as Exploratory Factor Analysis and text mining are used to process the data collected. This process is also supported by a descriptive analysis and hypothesis statement. Among the main findings, it is identified that cloud computing and data analytics are the technologies most used by companies and research groups in Santander. However, the appropriation of these technologies is still incipient. From this, it is concluded that the appropriation of 4.0 technologies is a process inherent to each company and organization in the region, so the advances and factors that may influence them depend on the context in which they operate and their characteristics.

---

\* Degree Work

<sup>5</sup> Physical-Mechanical Engineering Faculty. School of Industrial and Business Studies. Supervisor: Henry Lamos Díaz. PhD. Mathematical Physics. Co-supervisor: David Esteban Puentes Garzón. MSc. Industrial Engineering

## Introducción

En las últimas décadas, la convergencia de ciencias y tecnologías ha adquirido gran preponderancia en la sociedad gracias a la versatilidad de sus aplicaciones que se han extendido a áreas, ya no solo asociadas a la computación y programación, sino también a la salud, educación, manufactura y demás. La alta velocidad, escala e intensidad con la que avanza el mundo actual demanda en los países la planeación de estrategias que permitan aprovechar las oportunidades y manejar la incertidumbre que acompaña al cambio. Desde el 2020, la pandemia por el virus SARS-CoV-2 agilizó la transformación digital presentándose un aumento en la cantidad y diversidad de datos generados. Nuevas tecnologías como el big data, la computación en la nube, la analítica de datos, entre otras, permiten que empresas y diferentes organizaciones puedan almacenar y explotar grandes volúmenes de datos para su beneficio. De esta manera, la introducción de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 representa una ventaja competitiva para quienes las adopten.

En la mayoría de los casos, la adopción de nuevas tecnologías resulta ser un asunto crítico y de difícil solución, principalmente, para países en desarrollo que presentan dificultades económicas, sociales y políticas. En Colombia, el financiamiento de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) ha sido el principal obstáculo para el desarrollo del país (Minciencias, 2020). Sin embargo, Colombia debe iniciar su transición hacia una sociedad del conocimiento donde la apropiación y uso de las nuevas tecnologías proporcionará una ventaja competitiva para el abordaje de los desafíos y oportunidades de esta nueva era.

Desde el campo de la investigación, se han llevado a cabo estudios que han permitido comprender con mayor profundidad el estado del país en materia de desarrollo tecnológico. Entre

estos se destacan los aportes realizados por Ayala et al., (2021), en su trabajo titulado *Lineamientos y recomendaciones para la construcción de una política de Industrias 4.0* en el cual se identifican tres barreras principales en Colombia: ausencia de capital humano calificado; bajo involucramiento del sector privado; y, baja penetración y velocidad de internet.

No obstante, en el 2021 Colombia evidenció un aumento en el uso de tecnologías emergentes gracias a iniciativas gubernamentales como la creación del primer centro virtual de servicios compartidos de Tecnologías Avanzadas y Emergentes para la Transformación Digital, TecDigital (Business Trend, 2021). Asimismo, el Ministerio de la Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), quién promueve las políticas públicas para fomentar la CTI en Colombia, ha propiciado nuevas formas de fortalecer la articulación de la triple hélice en el país (Rojas Berrío et al., 2020). Sobresale su liderazgo en programas de capacitación en habilidades digitales como Por TIC Mujer, En TIC Confío, Programación para Niños y Niñas, entre otros.

En el ámbito empresarial el nivel de desarrollo tecnológico del país, además de ser escaso frente otras economías, adolece de una base empresarial fuerte pues las mipymes representan el 80% del empleo en Colombia y más del 90% del sector productivo nacional (Ministerio del Trabajo, 2019). Por lo general, estas organizaciones cuentan con bajos índices de apropiación tecnológica y altas cifras de empleo informal (Velasco Chaves et al., 2020). Sin embargo, se identifican una serie de factores motivacionales que incitan la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, orientados en mayor proporción en la búsqueda continua por diferenciar la oferta de valor con las de sus competidores y el sector económico en el que se desenvuelven (Rojas Berrío et al., 2020).

Por lo anterior, el gobierno, el sector privado y la academia juegan un papel crucial en la implementación de iniciativas y políticas públicas de apoyo que faciliten e influyan en la decisión

de dicha apropiación. Es fundamental contar con profesionales capacitados que contribuyan con la modernización industrial y la creación de una cultura tecnológica consciente de las nuevas necesidades (Peña Galvis y Palacio Osorio, 2018). Las universidades pueden apoyar la divulgación de nuevos conocimientos que faciliten la apropiación de tecnologías en empresas, especialmente en mipymes, ya que estas carecen de una capacidad investigativa altamente desarrollada (Minciencias, 2020).

Santander, al ser una de las principales economías del territorio nacional y de las más importantes en materia de producción de conocimiento y tecnologías, se constituye para el desarrollo de este trabajo de investigación como foco central en la identificación del nivel de apropiación de tecnologías 4.0 tanto en industrias como en grupos de investigación de universidades en Santander. Este proyecto es desarrollado bajo un enfoque exploratorio que busca aportar en la construcción de una región más competitiva para el bienestar de sus ciudadanos por medio del diseño de un marco de trabajo que sirva como guía para futuras investigaciones de profundización en el tema. También, se espera que por medio de esta investigación sea posible identificar hallazgos relevantes en torno a las dificultades y oportunidades que han influido en la apropiación de tecnologías 4.0 en diferentes regiones de Colombia.

**Tabla 1.**

*Cumplimiento de objetivos del proyecto*

<b>Objetivos</b>	<b>Cumplimiento</b>
Diseñar un marco de trabajo basado en análisis multivariante y minería de texto para identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander.	Apéndice R

Continuación Tabla 1

*Cumplimiento de objetivos del proyecto*

<b>Objetivos</b>	<b>Cumplimiento</b>
Realizar una revisión de literatura y análisis de contenido web en el contexto global sobre tecnologías 4.0 y los factores que inciden en su aplicación en las diferentes áreas del conocimiento de una sociedad.	Capítulo 5, Apéndice A
Diseñar un instrumento de medición para la identificación del nivel de apropiación de tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander.	Apéndice B
Analizar los datos por medio de un Análisis Factorial Exploratorio y minería de texto de información secundaria.	Capítulo 6, Apéndice E, F, G, L, M
Elaborar un artículo de carácter publicable que contenga los hallazgos más relevantes derivados de la investigación	Apéndice P

## 1. Planteamiento del problema

En las últimas décadas se han generado enormes cantidades de datos que crecen a tasas exponenciales gracias al esplendor de las redes sociales y a las nuevas tecnologías. En la actualidad, la enorme cantidad de dispositivos conectados es considerada como el principal desafío para las entidades y, la comunidad en general (Alvarez Mendoza et al., 2020) pues quienes cuenten con las habilidades para explotar los datos serán más competitivos. La importancia en la creación, almacenamiento y explotación de grandes volúmenes de datos radica en la información valiosa que poseen implícitamente, por lo que a partir de ellos se pueden tomar mejores decisiones para beneficio de la empresa u organización. La introducción de las nuevas tecnologías emergentes desempeña un papel fundamental en la Industria 4.0 ya que busca que las organizaciones puedan tomar mejores decisiones basadas en datos, optimizar los procesos, así como responder ágilmente ante los cambios del entorno y las nuevas demandas.

El concepto de Industria 4.0 involucra todas las tecnologías de fabricación e información que al integrarse con el potencial de transformar la producción permiten modificar las relaciones, no solo entre hombres y máquinas, sino también entre proveedores, productores y consumidores (Rozo-García, 2020). Así, se pone de manifiesto una nueva sociedad en donde predomina el valor del conocimiento sobre los bienes tangibles. Esta colectividad de nuevos saberes y formas de hacer las cosas introduce lo que hoy se conoce como sociedad del conocimiento.

Para Drucker, el conocimiento ha adquirido relevancia como nueva fuente de riqueza, dejando en segundo plano los factores de productividad (Forero de Moreno, 2009), por lo que las tecnologías emergentes se convierten en un medio que posibilita el progreso especialmente para

los países en desarrollo. Sin embargo, hoy en día, la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 sigue siendo un reto a nivel mundial. En esa vía, es preciso subrayar que “si bien ahora hay muchas aplicaciones basadas en inteligencia artificial que se han implementado en países desarrollados, el uso en entornos con limitaciones de recursos sigue siendo relativamente incipiente” (Curioso & Brunette, 2020, p.555).

Santander se constituye como una de las regiones más importantes del país donde el principal sector potencial para un gran desarrollo tecnológico es la agroindustria. De acuerdo con Alvarado Cardona (2021) algunas de las aplicaciones en este sector se evidencian en el desarrollo y diseño de dispositivos que permitan medir la temperatura en los galpones. De igual forma, en el campo empresarial, se refleja el mayor avance por medio de la implementación de chatbots y el uso de herramientas como la analítica y minería de datos para segmentación del mercado y diseño de campañas publicitarias. Por otro lado, en el campo del saber y la educación, se destaca la construcción y puesta en marcha del Centro Colombiano de Computación Avanzada con sede en Santander, donde se llevan a cabo proyectos tecnológicos innovadores que buscan convertir a la región en referente tecnológico y de innovación (Unired, 2017). No obstante, no se evidencian estudios que permitan identificar las formas de apropiación y usos de tecnologías 4.0 en industrias y especialmente, en grupos de investigación de Santander.

Por lo tanto, por medio de la presente investigación se busca dar respuesta a los interrogantes planteados respecto a factores, apropiación y despliegues que, según la literatura, han caracterizado los usos de las tecnologías 4.0 en el contexto global, por lo que se busca dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el nivel de apropiación de tecnologías de las Industria 4.0 en los grupos de investigación e industrias de Santander, así como los factores que han influido en su adopción?

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un marco de trabajo basado en análisis multivariante y minería de texto para identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Realizar una revisión de literatura y análisis de contenido web en el contexto global sobre tecnologías 4.0 y los factores que inciden en su aplicación en las diferentes áreas del conocimiento de una sociedad.

Diseñar un instrumento de medición para la identificación del nivel de apropiación de tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander.

Analizar los datos por medio de un Análisis Factorial Exploratorio y minería de texto de información secundaria.

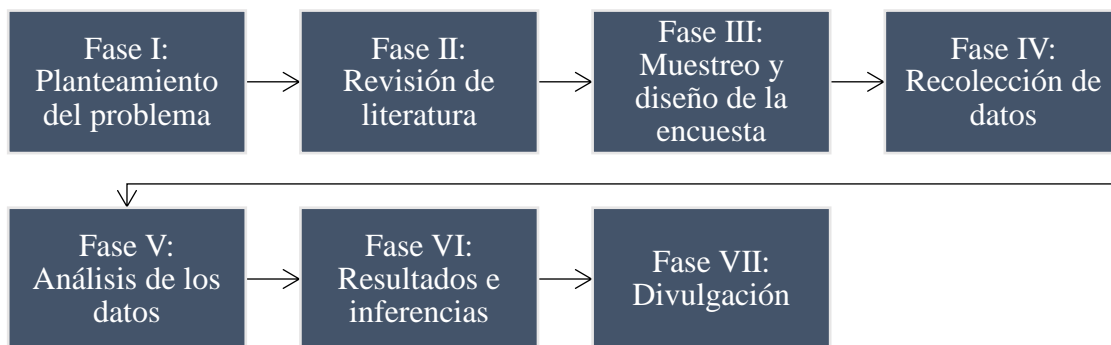
Elaborar un artículo de carácter publicable que contenga los hallazgos más relevantes derivados de la investigación

### 3. Metodología

Se toma como guía para el desarrollo metodológico de esta investigación la propuesta de Hernández Sampieri et al. (2014), la cual tiene 7 fases como se muestra en la Figura 1: planteamiento del problema, revisión de la literatura, muestreo y diseño de la encuesta, recolección de datos, análisis de datos, resultados e inferencias y divulgación.

**Figura 1**

*Estructura metodológica de la investigación*



#### 3.1 Fase I: Planteamiento del problema

En la primer fase se buscó concretar y analizar la idea principal de la investigación. Por tanto, se realizó una revisión de literatura y de contenido web preliminar, esencialmente en Google Scholar, para delimitar la problemática de la investigación.

#### 3.2 Fase II: Revisión de literatura

Posteriormente, se definieron tres ecuaciones de búsqueda que se emplearon en la base de datos Scopus y se seleccionaron los criterios de inclusión y exclusión para los artículos de investigación que establecieron los límites de la revisión. Todos estos artículos se almacenaron en

el gestor de referencias Mendeley para los cuales se construyó en Excel una tabla resumen con información relevante (ver Apéndice A).

### **3.3 Fase III: Muestreo y diseño de la encuesta**

Luego, en la tercera fase, se determinó que las empresas y grupos de investigación de universidades en Santander que tienen apropiada al menos una tecnología de la Industria 4.0 constituyen la población objeto de estudio. Debido a las limitaciones de alcance y recursos, se define un muestreo no probabilístico por conveniencia. Para identificar esta población se consultaron fuentes de información secundaria como periódicos, páginas directas del gobierno y los ministerios e, información disponible en la herramienta Compite 360. A su vez, se revisaron páginas web de las universidades y, teniendo en cuenta las líneas de investigación de los grupos, se seleccionaron aquellos que tenían las tecnologías 4.0 y la innovación como objeto de estudio.

Seguidamente, se diseñó un instrumento de medición por medio de la herramienta Google Forms. Se aplicaron las respectivas pruebas de validez y confiabilidad, para este caso, el método de Lawshe-Tristán y el Alfa de Cronbach, y se realizó una revisión con expertos del área académica y trabajadores de empresas (ver Apéndice C: Validez Empresas-Google y Validez Grupos-Google; Apéndice D: Alfa Cronbach Empresas-Google y Alfa Cronbach Grupos-Google). Por recomendación de los expertos, se realizaron ajustes a la encuesta y se decidió que la mejor herramienta para su diseño final era Microsoft Forms. De esta manera, se construyó una encuesta de 5 secciones compuestas de preguntas abiertas, cerradas y escalas de Likert (ver Apéndice B). Se aplicaron nuevamente las respectivas pruebas de validez y confiabilidad, pero únicamente para la encuesta aplicada a empresas debido a disponibilidad de expertos y tiempos del cronograma (ver Apéndice C: Validez Empresas-Forms; Apéndice D: Alfa Cronbach Empresas-Forms).

### **3.4 Fase IV: Recolección de datos**

La Fase IV correspondió al proceso de difusión de la encuesta, el cual se realizó por medio de correos electrónicos, llamadas telefónicas y visitas. Simultáneamente, se consultaron en la web documentos gubernamentales y noticias sobre tecnologías de la Industria 4.0 en Santander y a nivel nacional para la minería de texto.

### **3.5 Fase V: Análisis de los datos**

Después de recolectar los documentos y noticias se inició con la Fase V de esta investigación. Se destaca que la aplicación de la encuesta se realizó de manera paralela a la minería de texto, donde se utilizó Python como lenguaje de programación para el análisis y procesamiento de datos. El proceso de minería de texto comenzó con la creación de un archivo en Jupyter Notebook donde se extrajeron en archivos txt la información útil de las noticias seleccionadas (ver Apéndice E). Luego, se crearon los dos archivos para la minería de texto, uno para analizar los documentos gubernamentales y otro para las noticias (ver Apéndice F y G). En ambos archivos se importaron y descargaron librerías la manipulación de datos y, se cargó la información correspondiente. Posteriormente, se realizó el preprocesamiento de los datos el cual consistió en la eliminación de números, caracteres especiales, saltos de línea, tildes, lematización, entre otros. También, se reemplazaron algunas palabras y se creó el conjunto de palabras vacías para luego eliminarlas del conjunto final de palabras.

Para obtener una idea general de las palabras más predominantes en los textos, se realizó una distribución de frecuencias de la cual se obtuvo un gráfico de línea que evidencia las 30 palabras más frecuentes. Como paso siguiente, se calculó la frecuencia de ocurrencia del término en la colección de documentos (TF-IDF) y se empleó el método de Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir las dimensiones de los textos; con estos datos se clusterizó

posteriormente la información. El método K-Means es adecuado para desarrollar las agrupaciones, siendo el método del codo la técnica empleada para la sección del número de clústeres óptimo. Finalmente, se desarrolló para cada clúster una nube de palabras y un gráfico de barras para visualizar las palabras predominantes.

En cuanto a la encuesta, se realizó inicialmente un análisis descriptivo de datos por medio de Python, el cual se apoyó principalmente de gráficas y estadísticos descriptivos (ver Apéndice H y I). Sin embargo, a partir de los resultados se plantearon tres hipótesis para empresas y otras tres para grupos de investigación relacionadas con la apropiación de tecnologías 4.0 en estas organizaciones con el fin de complementar este análisis. Luego, en dos archivos aparte se desarrollaron en Python nubes de palabras para analizar las preguntas abiertas de la encuesta aplicada a empresas y grupos de investigación (ver Apéndice J y K).

El último análisis realizado a la encuesta fue el Análisis Factorial Exploratorio (AFE). Este, se llevó a cabo en Rstudio y fue el mismo proceso tanto para empresas como para grupos de investigación (ver Apéndice L y M). Este proceso inició con el cargue de datos tipificados al entorno de Rstudio. Allí, las columnas de datos se definieron como numéricas y se almacenaron en variables. Luego, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson y las respectivas pruebas para analizar la adecuación de los datos, que en este caso fueron la Prueba de Esfericidad de Bartlett y la Prueba de Kaiser, Meyer y Olkin. La identificación del número final de factores fue el siguiente paso, seguido de la selección del método de extracción y de rotación que son decisiones que deben tomarse previamente a la ejecución del modelo factorial. Después de ejecutar dicho modelo, se obtuvieron las cargas factoriales, comunalidades, especificidades y puntajes o *scores* de las variables. Los datos fueron exportados a un Excel para su respectivo análisis.

### 3.6 Fase VI: Resultados e inferencias

La sexta fase metodológica fue la de análisis de resultados e inferencias. En el caso de la minería de texto se revisaron en un primer momento los documentos y noticias a fin de tener una idea general sobre lo que abordaba cada uno. Luego, se identificaron los términos más empleados en las nubes de palabras y se redactaron los resultados, donde a cada agrupación se le asignó un tópico que englobara su idea principal. El proceso de análisis de preguntas abiertas no fue muy diferente a este, ya que consistió en la revisión de las respuestas dadas por los encuestados y la identificación de palabras predominantes en las nubes de palabras. Para el análisis descriptivo, la redacción de resultados se basó, principalmente, en la identificación de variables que más se destacaban por encima del resto y también, de las que menos. Esto, con el propósito de identificar falencias y fortalezas en cada temática entre los encuestados.

Finalmente, la redacción de resultados e inferencias del AFE inició con la adecuación y verificación de los resultados en un Excel para empresas y grupos de investigación (ver Apéndice N y O). Luego, se identificaron las variables con cargas factoriales poco significativas ya que no se consideraron como variables representativas en el análisis y se analizaron las variables que conformaban cada factor a las cuales les asignó un nombre. Fue necesario contrastar también con literatura y datos de la encuesta para lograr la interpretación del factor. Asimismo, se calcularon en Excel la media y desviación estándar de los datos para cada uno de los factores y variables observables que lo conforman (ver Apéndice S y T). Con esto se buscó identificar en empresas qué tipo de empresa (micro, pequeña, mediana o grande) tenía mayor inclinación hacia cada factor y, en grupos de investigación, a cuál factor se le fue asignado en promedio un mayor puntaje. Este análisis también se realizó desde una perspectiva más visual por medio de un gráfico de dispersión creado en Python con los datos de *scores* o puntajes extraídos del modelo factorial (ver Apéndice

U, V y W). Esta visualización permitió identificar hacia qué factor (eje) tienden a agruparse las empresas y grupos de investigación de acuerdo con los factores analizados.

### **3.7 Fase VII: Divulgación**

En la séptima y última fase de esta investigación se plasmaron los resultados de la investigación en el libro de divulgación. También se realizó un artículo de carácter publicable en donde se resumieron los hallazgos más valiosos de la investigación (ver Apéndice P).

## **4. Marco teórico**

### **4.1 Contexto histórico**

La palabra *Revolución* se utiliza para denotar un cambio brusco y radical por lo que las revoluciones, en gran medida, se han presentado cuando los avances tecnológicos y nuevas formas de percibir el mundo generan transformaciones profundas en los sistemas económicos y estructuras sociales (Schwab, 2016). Con el propósito de comprender el carácter transformador de la Cuarta Revolución Industrial resulta conveniente aludir algunos de los hallazgos más relevantes de las revoluciones precedentes. Bajo esta idea, se considera razonable tomar como punto de partida la Primera Revolución Industrial ya que ésta supuso el inicio de una nueva cosmovisión.

La primera revolución industrial se da en Inglaterra entre 1750 y 1840, motivada principalmente por una sucesión consecuyente de cambios tecnológicos que sustituyeron algunas habilidades humanas por instrumentos mecánicos, y a la energía humana y animal por la energía de las máquinas (Rozo-García, 2020). Este hecho histórico permitió la mecanización de los

procesos industriales y la expansión de las industrias gracias al aumento en la capacidad de producción. En el campo de la ciencia se genera una gama más amplia de temas investigados como en la química, medicina, geología, física y matemática (Sanchez, 2018). Su relevancia radica en que supuso el inicio de una nueva manera de estructurar los procesos.

La segunda revolución industrial acontece a mediados del siglo XIX y se caracteriza por avances tecnológicos como la creación de la electricidad y su aplicación en áreas como el transporte, la industria y la vida diaria. En esta época, se descubre el motor de explosión que permitió la invención del automóvil lo cual incentivó el desarrollo de la industria del petróleo. También se impulsó el uso del acero para la fabricación de nuevas herramientas y máquinas. Graham Bell construyó el primer teléfono y se dieron nuevos descubrimientos en el campo de la química (Kreisler Joly, 2018). Estas dos revoluciones significaron en la historia una sucesión de acontecimientos radicales que incentivaron en el hombre el deseo de investigar incansablemente para lograr un progreso económico y mayor bienestar social, lo que causó el desarrollo posterior de nuevas tecnologías sin precedentes.

Consecuentemente acontece la tercera revolución industrial, la cual tuvo sus inicios a mediados del siglo XX; se caracteriza por introducir la era del internet y el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación en diferentes ámbitos de la cotidianidad. Resulta conveniente señalar que, hoy en día, no hay consenso absoluto en cuanto a la dimensión de sus consecuencias.

Hay determinados autores que utilizan el concepto de Tercera Revolución Industrial para reflejar los avances científicos revolucionarios que comenzaron en la primera mitad del siglo XX y, en cambio, otros autores centran el comienzo de este movimiento en la segunda mitad del siglo XX o incluso en los primeros años del nuevo milenio (Kreisler Joly, 2018, p.22).

No obstante, esta revolución se considera un hito en la historia pues permitió el desarrollo acelerado de la electrónica y la tecnología de la información los cuales han sido la base de la automatización de la producción. Los desarrollos de esta revolución van encaminados a lograr la sostenibilidad por lo que se realizan las primeras investigaciones sobre el uso de energías renovables. En esta época se introduce el concepto de sociedad de la información en la década de los sesenta en Estados Unidos, el cual surge como una definición del mundo moderno debido a la creciente información proveniente del uso de las tecnologías (Carrillo Punina, 2017).

Tales revoluciones precedentes dan paso a la revolución industrial más reciente conocida como la cuarta revolución industrial o Industria 4.0. Esta nueva revolución industrial ha sido foco de estudio en la actualidad dada la velocidad y alcance con la que las tecnologías emergentes y la innovación se están difundiendo a lo largo del mundo. A diferencia de las revoluciones precedentes, ha logrado impactar a una mayor población en un menor tiempo. Sin embargo, la próxima revolución industrial ya es tema de discusión. Japón ha sido el primer país en utilizar el término Sociedad 5.0, siendo este presentado en la Feria de Hannover en Alemania en el 2017. Es considerada una revolución de índole social donde se busca desarrollar una sociedad de la imaginación y la creatividad para cambiar al mundo y materializar las ideas (Porcelli, 2020).

#### **4.2 Cuarta Revolución Industrial**

La Cuarta Revolución Industrial o 4IR, por sus siglas en inglés, también conocida como la Industria 4.0 (Mejía Criollo, 2018), es un término usado para denotar la disrupción de las nuevas tecnologías, los procesos y las nuevas relaciones entre las personas sobre el mundo actual. Este concepto fue introducido, por primera vez, por el gobierno alemán en el 2011 como estrategia para introducir un cambio de paradigma enfocado en el futuro digital de la producción industrial y con el fin de aumentar la competitividad de la industria manufacturera del país (Bigliardi et al., 2020).

Sin embargo, se estima que la cuarta revolución industrial tuvo sus inicios a comienzos del siglo XXI (Schwab, 2016).

Hoy en día, se ha hecho evidente que la velocidad, impacto y alcance con la que los avances tecnológicos han estremecido a la sociedad no tiene precedentes. De acuerdo con Klaus Schwab, esta revolución tecnológica alterará fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos unos con otros. La respuesta a sus cambios debe ser integrada y exhaustiva, y deberá involucrar a todos los actores de la política global, desde los sectores público y privado, hasta la academia y la sociedad civil (Schwab, 2020).

En el campo empresarial, la Industria 4.0 no solo revolucionará la organización de las cadenas de valor globales por medio de la construcción de fábricas inteligentes, sino que sus avances se verán reflejados en ámbitos que van más allá de las tecnologías convencionales, desde la nanotecnología hasta la aplicación de energías renovables (Schwab, 2016), por lo que se le atribuye un enfoque de sostenibilidad. De acuerdo con Ynzunza Cortés et al. (2017), la Industria 4.0 cuenta con componentes claves que giran en torno a: los sistemas ciberfísicos, las máquinas y productos inteligentes, el internet de las cosas, el internet de los servicios, las fábricas y ciudades inteligentes.

Las fábricas inteligentes tienen presente dentro de sus estructuras los sistemas ciberfísicos que proveen la capacidad de monitorear y controlar los procesos físicos, crear una copia virtual del mundo real y tomar decisiones descentralizadas. Las máquinas pueden comunicarse entre sí para llevar a cabo sus actividades (M2M) y, el desarrollo de productos inteligentes es posible gracias a la incursión del internet de las cosas y el internet de los servicios, los cuales soportan la construcción de entornos inteligentes donde la computación en la nube facilita el almacenamiento de grandes volúmenes de datos (Ynzunza Cortés et al., 2017).

### **4.3 Transformación Digital**

Hace referencia a la fusión de tecnologías e integración de sistemas físicos y digitales, con predominio de modelos innovadores de negocios y nuevos procesos, centrados en el cliente y la creación de productos y servicios inteligentes. No se basa solamente en las TIC, que son su componente principal, sino en otros temas que son indispensables para que ocurra una transformación, como lo son: la dirección y liderazgo, los participantes, la planificación, la capacidad de análisis de datos e información, la integración de las TIC, la experiencia del cliente, y la alfabetización (Rivas Mago y Ganvini Valcárcel, 2021).

### **4.4 Tecnologías de la Industria 4.0**

#### ***4.4.1 Internet de las cosas***

El internet de las cosas consiste en la interconexión digital de objetos cotidianos con internet, por medio de múltiples tecnologías como sensores que conectan el mundo físico con el digital, computadores que procesan esa información y plataformas web donde se almacenan los datos. Esta infraestructura de red inteligente mejora las operaciones, aumenta la seguridad, protección y productividad (IAC, 2018). Las principales características del internet de las cosas son la interconectividad; los servicios relacionados con las cosas; cambios dinámicos y la heterogeneidad, pues dispositivos basados en hardware muy variados de plataformas y redes interactúan con otros dispositivos en otras plataformas o redes (Secretaría de las TIC, 2016).

#### ***4.4.2 Sistemas ciberfísicos***

Son aquellos que integran y coordinan procesos físicos y sistemas computacionales a través de la comunicación por medio de una red de todos sus componentes. Son sistemas complejos, a gran escala, descentralizados, distribuidos y con elementos o componentes en red, heterogéneos y semiautónomos (Villalonga Jaen et al., 2018). Los sistemas ciberfísicos permiten el incremento de

la capacidad de procesamiento de los dispositivos, reducción de tamaño, mejoras en la conectividad, la interoperatividad entre diferentes sistemas operativos, mayor uso de sistemas de almacenamiento de información y la aplicación de sistemas de inteligencia artificial (Rodal, 2019).

#### **4.4.3 Ciberseguridad**

Hace referencia a la defensa de computadores y servidores, dispositivos móviles, sistemas electrónicos, redes y datos de ataques maliciosos, a través de conjunto de herramientas, políticas, conceptos de seguridad, acciones y demás tecnologías que pueden proteger los activos de información de las organizaciones (Valoyes Mosquera, 2019). La ciberseguridad tiene como propósito proteger infraestructura crítica y datos personales, organizar estructuras sociales comprometidas con la seguridad de la información y el uso adecuado y responsable de la tecnología con base en el respeto a la privacidad y los derechos de terceros (Arreola García, 2019).

#### **4.4.4 Cloud computing**

Hace referencia a un “modelo de prestación de servicios y de acceso en el que los recursos escalables y virtualizados dinámicamente se proporcionan como un servicio a través de Internet” (Antonopoulos & Gillam, 2017, p.22). Algunas de las características clave de la computación en nube son: la oferta de autoservicios bajo demanda, servicios en teléfonos móviles, la puesta en común de recursos como la memoria, el ancho de banda de la red y las máquinas virtuales y, la multipropiedad, pues diferentes empresas comparten los mismos recursos subyacentes lo cual no es una solución rápida de implantación en una organización y es más beneficiosa cuando se utiliza con las TI que de forma aislada (Guevara, 2018).

#### **4.4.5 Blockchain**

El blockchain permite compartir un libro de transacciones que se lee, valida y almacena en una cadena de bloques. Las nuevas entradas (bloques) se añaden al final del libro de contabilidad

mediante la vinculación con el identificador *hash* del bloque anterior. Los sistemas basados en la tecnología blockchain funcionan de forma distribuida, con múltiples agentes o participantes que deberían ser independientes entre sí, y que pueden utilizar las comunicaciones entre pares para estructurarse en una colectividad de red. La criptografía ofrece una transmisión de datos segura y permite la inmutabilidad de los registros, en un entorno descentralizado (Belotti et al., 2019).

#### **4.4.6 *Inteligencia artificial***

Se define como la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones como lo haría un ser humano (Rouhiainen, 2018). Esta tecnología ayuda a las personas a desarrollar las tareas de forma más ágil y eficiente; automatizar tareas manuales o cognitivas y apoyar la toma de decisiones (Iglesias Rodriguez et al., 2020). La adopción de un enfoque basado en esta disciplina genera nuevas oportunidades de creación de valor para la fabricación inteligente en un entorno dinámico e incierto (J. Lee et al., 2019).

#### **4.4.7 *Machine learning***

Para Faggella (2020) es la ciencia que permite que las computadoras aprendan y actúen como lo hacen los humanos, mejorando su aprendizaje a lo largo del tiempo de una forma autónoma, alimentándolas con datos e información en forma de observaciones e interacciones con el mundo real. Los algoritmos son el conjunto de operaciones sistemáticas que permiten el aprendizaje en las máquinas. Se pueden encontrar tres grandes grupos: Algoritmos supervisados, semi-supervisados y no supervisados (Russo et al., 2016). Los primeros aprenden con datos históricos que les facilita la asignación de etiquetas a los datos de salida, mientras que para los últimos acontece todo lo contrario. Asimismo, los algoritmos semi-supervisados trabajan tanto con datos etiquetados como no etiquetados para crear una función que clasifique los datos de salida.

#### **4.4.8 *Big data.***

El big data es el conjunto de datos cuyo volumen, variabilidad y velocidad de crecimiento, dificultan su captura, gestión y procesamiento mediante técnicas convencionales (Mercado Pérez y Escobar Borja, 2020). Su importancia radica en que la visualización, el intercambio de datos y el análisis, son las bases que soportan la toma de decisiones y mejoran la autoconciencia y mantenimiento de las máquinas (Velásquez et al., 2019).

#### **4.4.9 *Realidad virtual y realidad aumentada***

En la actualidad, la realidad virtual y la realidad aumentada son tecnologías que han aumentado el interés por parte de las organizaciones dadas sus aplicaciones estratégicas (Otegui Castillo, 2017), las cuales difieren en la representación espacial que puede ejecutar cada una. Se atribuye el término de realidad virtual a toda tecnología que puede reproducir contenido mediante dispositivos digitales como gafas de realidad virtual y Smartphones (Bockholt, 2017), mientras que, se considera realidad aumentada como una ventana por medio de la cual se puede observar el mundo de una forma enriquecida, es decir, puede combinar el mundo real con el virtual con el fin de otorgar una experiencia inigualable (Rigueros Bello, 2017).

#### **4.4.10 *Robots***

De acuerdo con Quiroga (2018), la robótica es una ciencia que estudia el diseño y construcción de máquinas que tienen la capacidad de llevar a cabo tareas desempeñadas por el ser humano. Las mejoras en inteligencia artificial han creado robots cada vez más autónomos, flexibles y cooperativos (Del Val Román, 2016). En este sentido, los robots “adoptan múltiples formas que van desde los robots industriales, colaborativos, asistenciales, médicos, *wearables* y drones hasta las formas vinculadas con la inteligencia artificial como los vehículos autónomos” (Mercader Uguina, 2018, p.121).

## **4.5 Minería de texto**

La minería de textos encuentra nueva información en los datos basados en caracteres extrayendo el contexto y el significado mediante técnicas de lenguaje natural y procesamiento de documentos. En pocas palabras, es una técnica para extraer información significativa de datos en forma de texto (Jung & Lee, 2020). A diferencia de la minería de datos, la minería de texto trabaja con datos no estructurados por lo que el preprocesamiento de la información juega un papel clave en su estructuración y organización. La agrupación de documentos se realiza con base a criterios de similitud entre los documentos. Sus principales aplicaciones giran en torno a la clasificación, extracción y agrupación de información, análisis de sentimientos, extracción de metadatos, entre otras (Godoy Viera, 2017).

La minería de textos también se utiliza activamente como medio para analizar las tendencias de la investigación en diversos campos de estudio, como los sistemas de información, la gestión tecnológica, la educación, la biblioteconomía y la ciencia de la información, la psicología y la sociología, entre otros (Jung & Lee, 2020). Es de resaltar que la palabra *texto*, en la minería de textos, debe entenderse como un símbolo almacenado en forma digital, por lo tanto, las imágenes y los archivos de vídeo también se demarcan como objetos de la minería de textos.

### ***4.5.1 Etapas de la minería de texto***

En primer lugar, se determina el propósito de estudio de la minería de texto. Consecuentemente, la información debe ser recolectada o recuperada identificando las fuentes más relevantes para el objeto de estudio de la minería de texto. Se deben recopilar también los documentos detectados en el mejor formato evaluando su relevancia. En esta segunda etapa, se debe contar con el conjunto de documentos necesarios para la realización de la minería de texto.

Luego, durante la tercera etapa, se realiza el procesamiento de texto eliminando datos que no ayudan al propósito de la minería, por medio de análisis léxico, tratamiento y separación de palabras vacías (artículos, preposiciones, conjunciones), tratamiento de términos flexionados (términos relacionados morfológicamente, variaciones de género, número o tiempo verbal), tratamiento de palabras compuestas, normalización de palabras, obtención de las raíces de las palabras y etiquetado de palabras. Además, en esta etapa hay que corregir problemas en los documentos como: la polisemia, homonimia, sinonimia; facilitando la selección de características deseadas, palabras clave, entidades, individuos, organizaciones, lugares, oraciones, conceptos.

La cuarta etapa consiste en la extracción y análisis de clases, relaciones, asociaciones o secuencias, para encontrar evidencias de conceptos y de estructuras existentes. Los datos obtenidos en esta etapa son representados en alguna estructura que facilite su análisis. Finalmente, en la quinta etapa se presentan los resultados para su interpretación y se puede almacenar la información procesada en bases de datos para su recuperación posterior (Morgado García, 2016).

#### **4.6 Métrica TF-IDF**

La Frecuencia del Término por Frecuencia Inversa de Documento (TF – IDF) es una métrica para encontrar el documento más relevante para cierto término dentro de una colección de documentos. Es una combinación de dos medidas: frecuencia de términos y frecuencia inversa de documentos. La primera, mide el número de veces que un término está presente en un documento mientras que la segunda compara el número de todos los documentos disponibles con el número de documentos que contienen el término (Qaiser & Ali, 2018). Posteriormente ambas medidas son multiplicadas con el fin de poder analizar la importancia de ciertas palabras dentro de un conjunto de documentos. En este sentido, se consigue un TF-IDF alto cuando la frecuencia de un término en una página es mayor, y menor sea el número de documentos que mencionan dicho término

(Bafna et al., 2016). La ecuación se compone de una multiplicación entre la frecuencia de término y la frecuencia inversa de documento como se evidencia en las ecuaciones 1 y 2.

$$TF_{ij} = \frac{(n_{ij})}{(l)} \quad IDF_j = \log\left(\frac{N}{n_j}\right) \quad (1)$$

$$TF - IDF = TF_{ij} * IDF_j \quad (2)$$

Donde  $n_{ij}$  es el número de veces que aparece el término  $j$  en el documento  $i$ ,  $l$  el número de palabras en el documento  $i$ ,  $N$  es el número de documentos y  $n_j$  es el número de documentos que contienen el término  $j$ . La función logarítmica busca acotar el valor máximo de relevancia principalmente porque los valores en una relación lineal pueden ser muy grandes y disminuir la relevancia de algunas palabras del documento. Es de resaltar que, a mayor extensión de la base de datos usada para calcular el TF-IDF, más preciso será el resultado (Qaiser & Ali, 2018).

#### **4.7 Muestreo no probabilístico**

Se trata de un muestreo basado en el criterio del investigador, ya que las unidades del muestreo no se seleccionan por procedimientos al azar, sino que se realizan con base a las características de la propia investigación. En otras palabras, se basa en lo que estime conveniente el investigador, los objetivos de estudio que se plantean al inicio del trabajo y de los resultados que se quieren obtener como contribución científica (Muñoz Loayza, 2018).

#### **4.8 Alfa de Cronbach**

El alfa de Cronbach es un índice utilizado para evaluar la confiabilidad o consistencia interna de un instrumento constituido por una escala Likert, o cualquier escala de opciones múltiples (Quero Virla, 2010). También se entiende como la medida que valora cuán tan presente

está un factor o concepto en cada ítem de la escala. Se entiende por factor al conjunto de variables no observables directamente que pueden ser inferidas a partir de otras variables observables. Un elevado valor como resultado infiere que varios ítems miden un factor en común. Existen diversas técnicas para medir la confiabilidad o consistencia interna de una escala, sin embargo, el Alfa de Cronbach es popular por su practicidad (Oviedo Celina y Campo Arias, 2005). En la ecuación 3 se muestran las partes que conforman este índice.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} * \left( \frac{\sum \theta_{y_i}^2}{\theta_x^2} \right) \quad (3)$$

Donde  $k$  es el número de ítems en la escala,  $\theta_{y_i}^2$  es la varianza del ítem  $i$  y  $\theta_x^2$  es la varianza de las puntuaciones observadas de los individuos.

#### 4.9 Método Lawshe Tristán

El método de Lawshe-Tristán es un modelo utilizado para determinar un índice cuantitativo para la validez de contenido de un instrumento. Este modelo surge de la modificación que realiza Tristán al modelo original de Lawshe debido a que en este no se explica ni justifica el procedimiento seguido para construir la tabla de valores mínimos de aceptación para la Razón de Validez de Contenido (CVR), por lo cual a veces se complica su interpretación. También, debido a que los valores mínimos de CVR se ven afectados por el número de jueces, de modo que CVR es muy exigente con pocos expertos (CVR=1 con 5 expertos) y muy laxo con un gran número de expertos (CVR=0.29 con 40 expertos) siendo no aplicable a evaluaciones con menos de cinco expertos. Puede decirse que el modelo de Tristán guarda una relación funcional con el modelo de Lawshe pues es posible pasar de una expresión a la otra sin ningún problema (Tristán López, 2008). En la ecuación 4 se muestra la fórmula propuesta por Tristán.

$$CVR' = \frac{n_e}{N} \quad (4)$$

Donde  $n_e$  hace referencia al número de expertos que considera esencial un ítem y N es el número de total de expertos que evalúan el ítem.

#### **4.10 Análisis multivariante**

Conjunto de técnicas estadísticas que tienen como objetivo analizar e interpretar las relaciones entre distintas variables de manera simultánea mediante la construcción de modelos estadísticos complejos, que permiten distinguir la contribución independiente de cada una de ellas en el sistema de relaciones y, de este modo, describir, explicar o predecir los fenómenos que son objeto de interés para la investigación (Meneses, 2019).

##### ***4.10.1 Análisis Factorial Exploratorio***

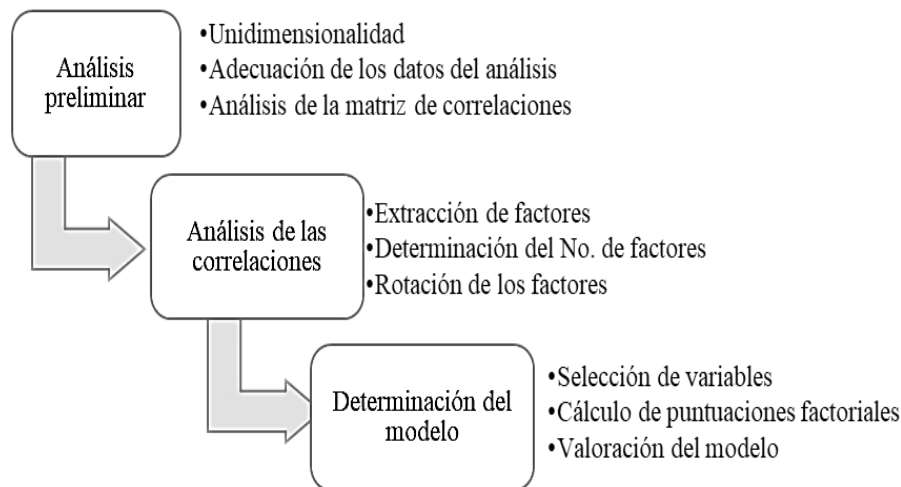
El AFE es un tipo de análisis factorial basado en estadística multivariante que surge a comienzos del siglo XX. Este tipo de análisis se caracteriza por analizar las variables en conjunto, es decir, no existe una variable respuesta ni variables independientes, como en la mayoría de los modelos de regresión lo cual la hace altamente versátil (Méndez Martínez y Rondón Sepúlveda, 2012). Su propósito es establecer estructuras de correlación entre ellas por lo que busca crear grupos de variables, conocidos como factores, que expliquen la mayor parte de la varianza observada en un conjunto más amplio de datos (López Aguado y Gutiérrez Provecho, 2019).

No obstante, antes de iniciar con la implementación de un AFE, se deben tener en cuenta los supuestos de normalidad, linealidad y multicolinealidad de las puntuaciones (Pérez y Medrano, 2010). Respecto con el tamaño de la muestra, se recomienda sea la mayor posible, sin embargo, resulta de mayor impacto la composición y los procesos de selección muestral (López Aguado y

Gutiérrez Provecho, 2019), los resultados basados en muestras pequeñas deben analizarse con cautela. El proceso para realizar un AFE se evidencia en la Figura 2.

## Figura 2

### *Proceso de Análisis Factorial Exploratorio*



Nota. Tomado de “Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS, de López Aguado y Gutiérrez Provecho, 2019”.

Debido a que los casos atípicos pueden afectar significativamente los resultados del análisis, ya que las correlaciones se estiman con base a la media de las variables, se recomienda realizar un análisis de exploración inicial (Pérez y Medrano, 2010).

**4.10.1.1 Prueba de esfericidad de Bartlett.** La Prueba de esfericidad de Bartlett sirve para comprobar si la matriz de correlaciones es una matriz identidad, es decir, que las correlaciones entre las variables son ceros. La prueba consiste en una estimación de ji-cuadrado a partir de una transformación del determinante de la matriz de correlaciones. Si las variables no están correlacionadas, entonces la prueba de Bartlett debe presentar un valor (significancia) superior al límite de 0.05. Si el análisis presenta una significancia muy inferior al límite, indica que la matriz de datos es válida para continuar con el proceso de análisis factorial (Montoya Suárez, 2007)

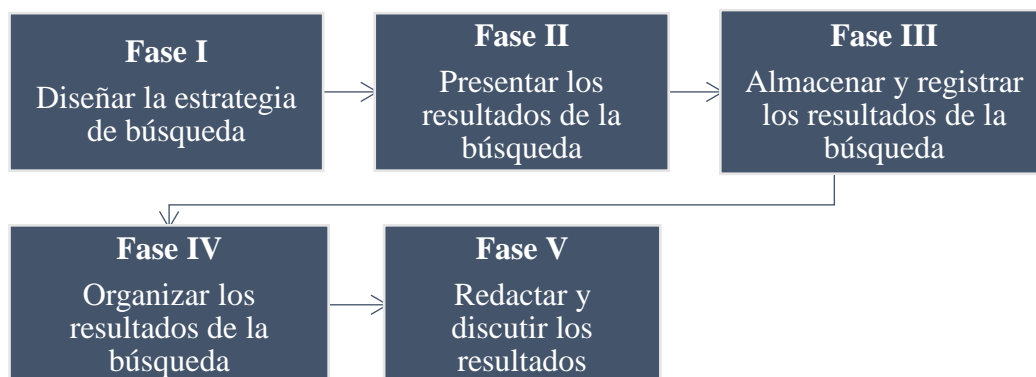
**4.10.1.2 Prueba de Kaiser, Meyer, Olkin.** La prueba de adecuación de Kaiser-Meyer Olkin (KMO) sirve para comprobar el grado de relación conjunta entre las variables, es decir, permite valorar el grado en que cada una de las variables es predecible a partir de las demás. Este estadístico se distribuye en valores entre 0 y 1, y cuanto mayor es el valor, más relacionadas estarán las variables entre sí (López Aguado y Gutiérrez Provecho, 2019).

## 5. Revisión de literatura

La revisión de literatura tiene como propósito consultar y analizar información existente en la literatura sobre el problema objeto de estudio de modo que le confiera al investigador una primera aproximación de los antecedentes relevantes y le permita examinar detalladamente la bibliografía, para situarla en determinada perspectiva (Guirao Goris et al., 2015). Arnau Sabatés y Sala Roca (2020) proporcionan orientaciones sobre cómo desarrollar una revisión de literatura por lo tanto se realiza una adaptación de la estructura metodológica visible en la Figura 3.

**Figura 3**

*Metodología para revisión de literatura*



La Fase I inicia con la identificación de palabras claves que guardan relación con el tema de investigación para delimitar y orientar la búsqueda en las bases de datos. Para esto, se tienen en cuenta los sinónimos ya que muchas palabras pueden aludir al mismo concepto.

Las palabras claves seleccionadas fueron: “tecnologías”, “tecnologías habilitadoras”, “tecnologías avanzadas”, “Industria 4.0”, “factores”, “aplicaciones”, “adopción”, “análisis multivariante”, “minería de texto”. Posteriormente, se selecciona la base de datos Scopus donde se emplean tres ecuaciones de búsqueda. Se obtiene un total de 121 resultados, los cuales pueden observarse en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Ecuaciones de búsqueda y resultados preliminares*

<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>
("Technologies" AND "Industry 4.0" AND "Factors" AND "Applications" AND "Adoption")	17
("Industry 4.0" AND ("Multivariate Analysis" OR "Text mining"))	40
("Technologies 4.0" OR "enabling technologies" OR "Advanced technologies") AND ("Multivariate Analysis" OR "Text mining")	64

Sin embargo, la fase II propone presentar los resultados de la búsqueda por lo que se establecen criterios de inclusión y exclusión como puede verse en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Criterios de inclusión y exclusión*

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Documentos de tipo artículo de revista y de revisión.</li> <li>– Artículos publicados en los últimos 5 años (2016-2021).</li> <li>– Artículos donde el título y resumen hagan alusión a la temática planteada.</li> <li>– Artículos en inglés y español.</li> </ul>

Continuación Tabla 3

*Criterios de inclusión y exclusión*

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Documentos tipo conference paper y conference review.</li> <li>– Artículos provenientes de Conference proceeding y Book series.</li> <li>– Artículos duplicados entre las diferentes ecuaciones de búsqueda.</li> </ul>

Gracias a los criterios y ecuaciones de búsqueda anteriormente planteados se acotan los resultados preliminares obtenidos en la Tabla 4 logrando un total de 50 artículos diferentes.

**Tabla 4**

*Ecuaciones de búsqueda y resultados*

<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>
( "Technologies" AND "Industry 4.0" AND " Factors" AND "Applications" AND "Adoption" ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) )	11
( "Industry 4.0" AND ( "Multivariate Analysis" OR "Text mining" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) )	16
( "Technologies 4.0" OR "enabling technologies" OR "Advanced technologies" ) AND ( "Multivariate Analysis" OR "Text mining" ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2021 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2016 ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) )	26

Sin embargo, al revisar el contenido de los artículos se identifica que 23 de ellos no proporcionan información relevante para la investigación por lo que fueron descartados. Adicionalmente, se recopilan por *bola de nieve* 11 artículos que se consideraron pertinentes para la investigación. Por lo tanto, fueron en total 38 artículos revisados.

Los artículos relevantes para el estudio se descargan y almacenan en el gestor bibliográfico Mendeley de acuerdo con la fase III propuesta. A su vez, se identifica el tipo de información relevante a extraer de los artículos de tal forma que se organiza una tabla para el registro y resumen de las referencias seleccionadas (ver Apéndice A). Este ejercicio facilita la comparación y análisis crítico de los artículos, así como provee una perspectiva general de la literatura para la investigación.

### **5.1 Análisis bibliométrico**

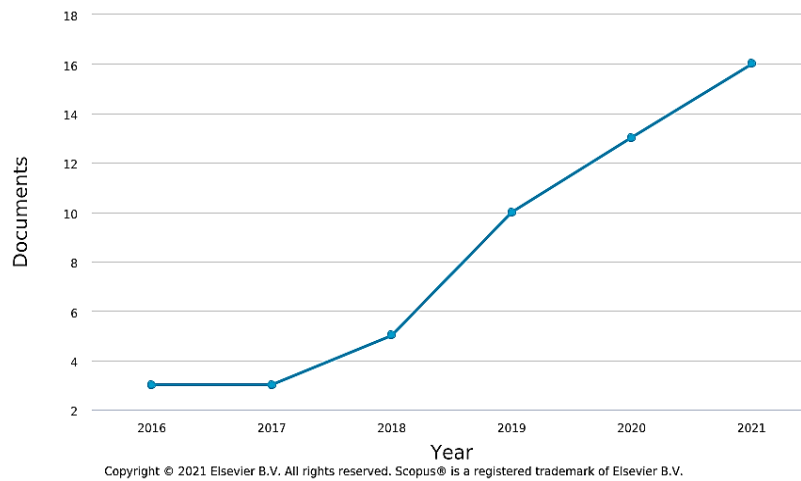
De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el análisis bibliométrico es “una herramienta mediante la cual se puede observar el estado de la ciencia y de la tecnología a través de la producción global de la literatura científica en un nivel dado de especialización” (López Muñoz et al., 2021, p.3).

Se emplean las métricas disponibles en la base de datos Scopus para análisis bibliométrico, así como las herramientas del software Vosviewer y el lenguaje de programación R. Las publicaciones están representadas en mayor proporción por artículos de revistas y de revisión. Todos los artículos identificados se encuentran en inglés.

La Figura 4 ilustra el contraste de los artículos por año de publicación evidenciando una tendencia creciente a partir del 2017. Este comportamiento se atribuye a la complejidad social, económica y tecnológica que atraviesa la sociedad e incentiva el estudio de las particularidades de los procesos que intervienen en el desarrollo de las sociedades (Alfonso Sánchez, 2016), destacando tópicos relacionados con la adopción de tecnologías de la Industria 4.0.

**Figura 4**

*Número de documentos publicados por año*

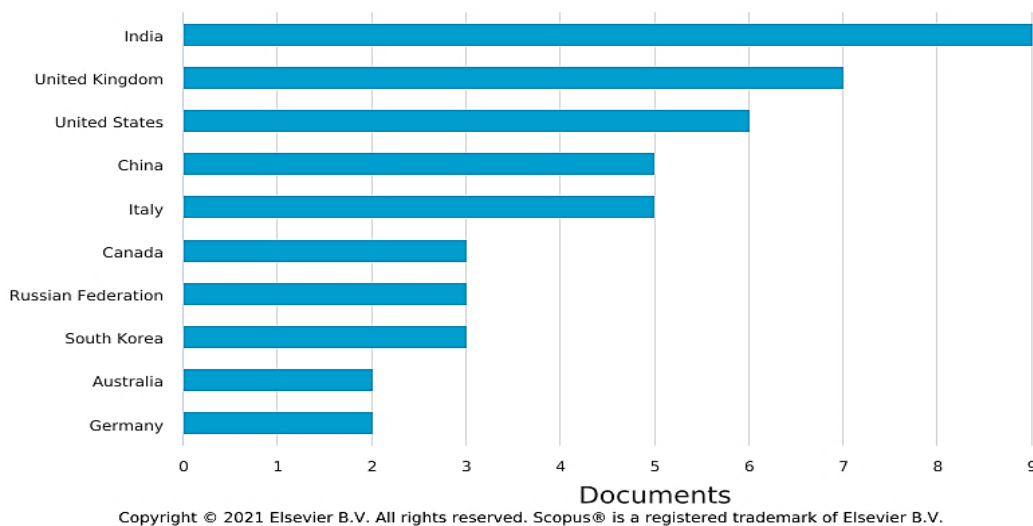


*Nota:* Tomado de Scopus, 2021

En cuanto a la distribución geográfica, se identifica en la Figura 5 que el país predominante en publicación de artículos científicos sobre la temática en cuestión es la India, seguido por Reino Unido, Estados Unidos, China e Italia.

**Figura 5**

*Número de documentos publicados por país*

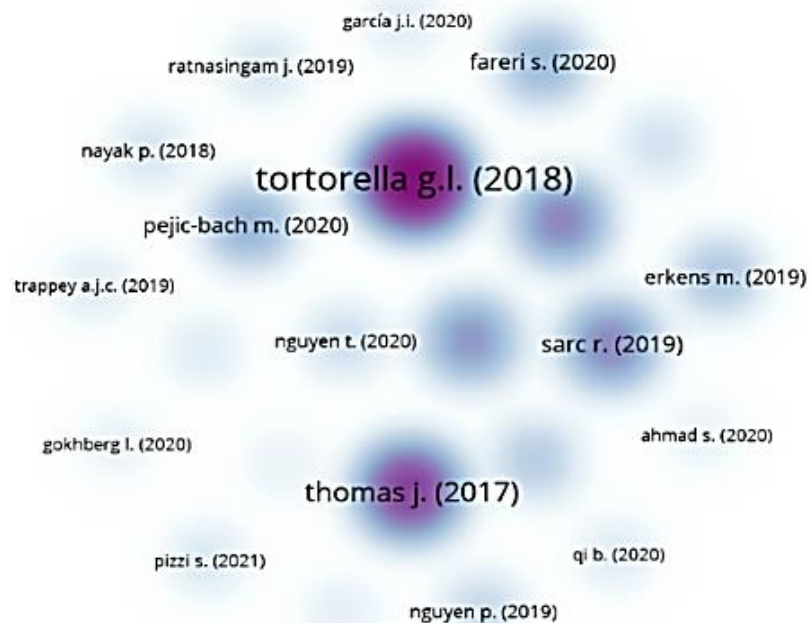


*Nota:* Tomado de Scopus, 2021

Por otro lado, en la Figura 6 se muestra que los autores más referenciados en citas son Guilherme Luz Tortorella, seguido por Thomas J. y Francesco Galati con 194, 104 y 49 citaciones respectivamente.

### Figura 6

*Autores más referenciados según citas*



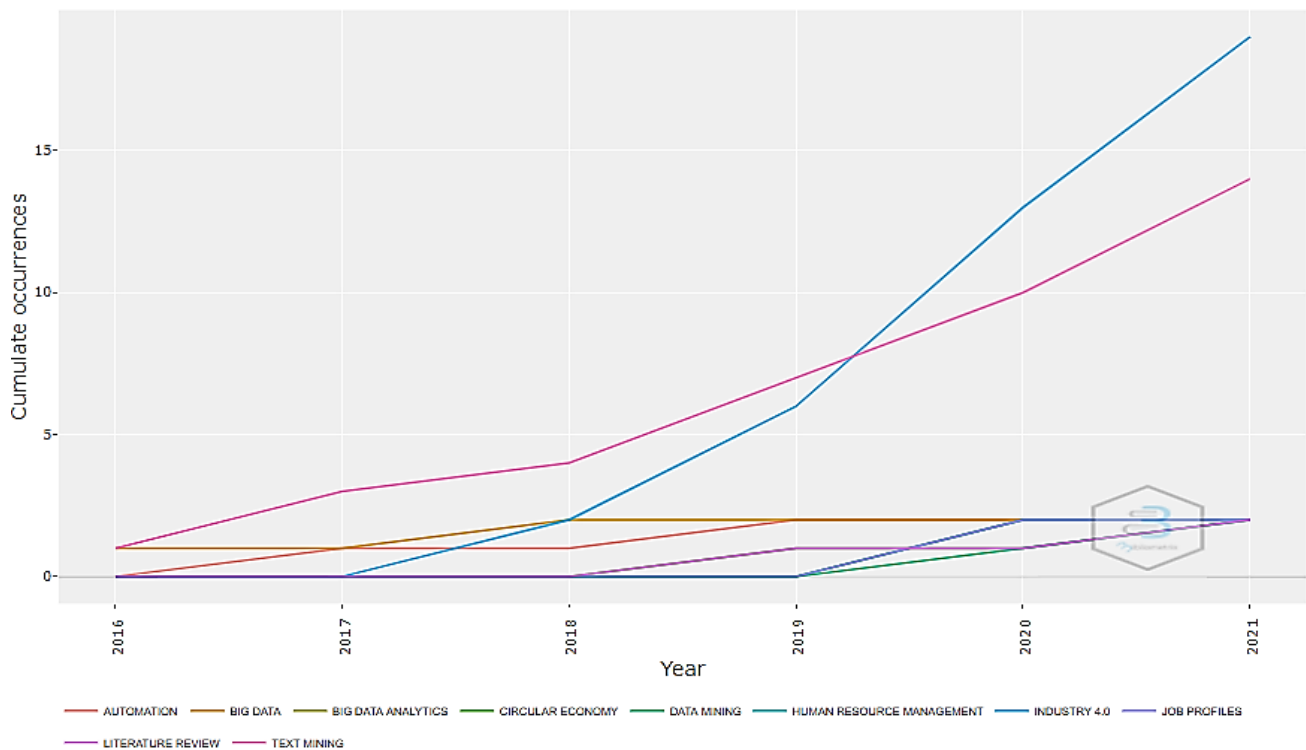
*Nota:* Tomado de Vosviewer, 2021

En cuanto a las palabras claves de los autores, la Figura 7 expone la tendencia acumulada de 10 de estas desde el 2016. Se evidencia un creciente predominio del concepto de Industria 4.0 y de la minería de texto. Sin embargo, la gestión del recurso humano, al igual que los perfiles profesionales, minería de datos y analítica de big data, son temas poco tratados, pero aludidos en gran medida en el 2020. Para 2021 la tendencia muestra crecimiento solo para minería de datos, economía circular y la técnica de revisión de literatura. A pesar de que la gestión del recurso

humano, los perfiles profesionales, la minería de datos y la economía circular evidenciaron un aumento, no se proyecta un crecimiento marcado en las temáticas para años próximos.

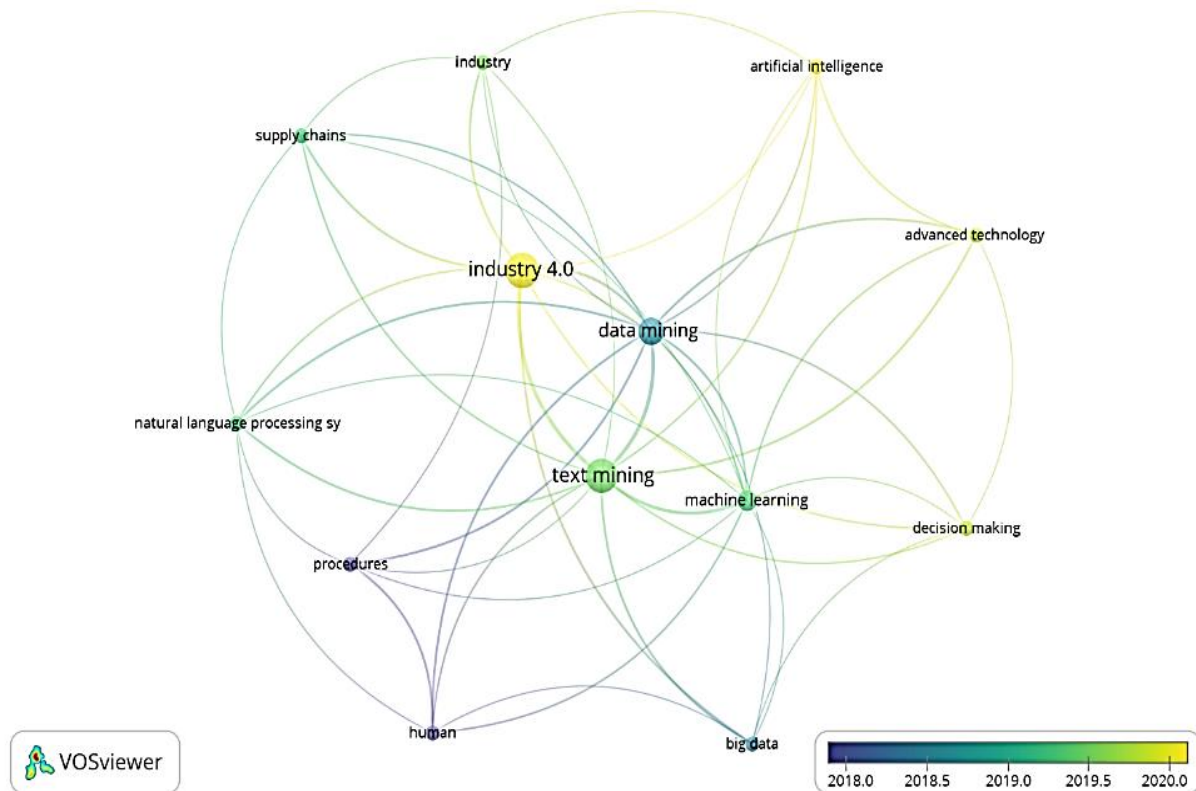
### Figura 7

*Tendencia de las palabras claves de los autores*



*Nota:* Tomado de Rstudio, 2021

Asimismo, en la Figura 8 se identifica que las tecnologías de la Industria 4.0 más mencionadas fueron inteligencia artificial, machine learning, big data, minería de texto y de datos. Se evidencia que la mayor aplicación de estas tecnologías ocurre en las cadenas de suministro, donde su principal empleo radica en la toma de decisiones. La expresión *human* toma relevancia ya que las habilidades del talento humano y la comunicación entre máquinas y personas son tópicos altamente discutidos por su importancia en el manejo de las nuevas tecnologías.

**Figura 8***Palabras claves*

*Nota:* Tomado de Vosviewer, 2021

Posteriormente se desarrolla una nube de palabras, como se evidencia en la Figura 9, que tiene como tema central la Industria 4.0. En esta el big data, la robótica y automatización, el blockchain, la inteligencia artificial, los sistemas de inteligencia empresarial, la manufactura 3D, la computación en la nube, el machine learning, la minería de datos y la minería de texto, son tecnologías abordadas en este contexto. En cuanto a las tres últimas, parte de los artículos revisados implementaron estas herramientas dentro de su metodología para el procesamiento y análisis de los datos. También se implementaron otras técnicas como análisis multivariante, ANOVA, procesamiento de lenguaje natural, revisión sistemática y no sistemática de literatura, estudio de casos y análisis correlacional. Se resalta el concepto de economía circular ya que las tecnologías

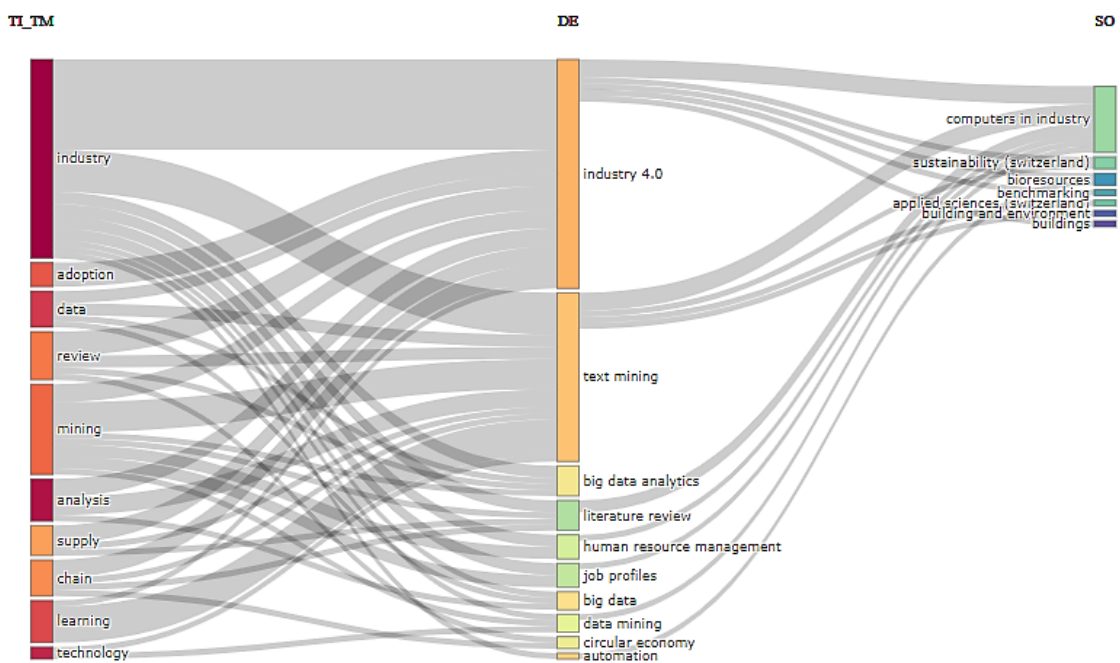


existe un creciente interés por utilizar esta tecnología como herramienta para el procesamiento de artículos científicos y su analítica para apoyar la toma de decisiones en las organizaciones.

Por otro lado, la palabra *revisión* hace alusión tanto a los artículos de revisión identificados en la literatura como a la técnica de análisis de información. Al igual que lo identificado en las Figuras 7 y 9, la gestión del recurso humano y los perfiles profesionales son temáticas predominantes en la literatura, pero a las cuales todavía les hace falta mayor profundización y desarrollo investigativo. Por último, se identifica que la revista que ha empleado mayores esfuerzos en investigar el tema objeto de estudio es *Computers in Industry*, siendo la única que evidencia estudios en los campos no solo en Industria 4.0 y minería de texto, sino también en gestión del recurso humano, perfiles profesionales, minería de datos y automatización.

**Figura 10**

*Diagrama de Sankey*

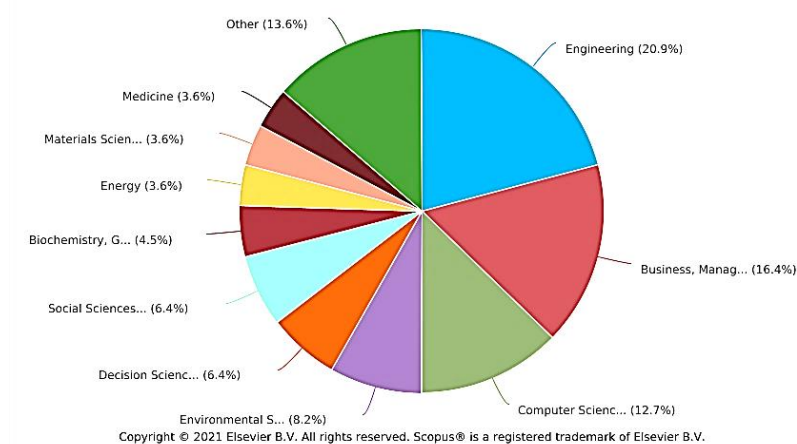


*Nota:* Tomado de Rstudio, 2021

Cabe resaltar que la calidad de las investigaciones no hace referencia exclusivamente al nivel científico, sino también a su idoneidad partiendo de la orientación temática alcanzada. Por tal motivo, en la Figura 11 se identifica que las áreas de mayor estudio son ingeniería, negocios, administración, contabilidad y ciencias de la computación. En este sentido, se considera un tema de estudio multidisciplinario en el que se engloban diferentes temáticas para su aplicación.

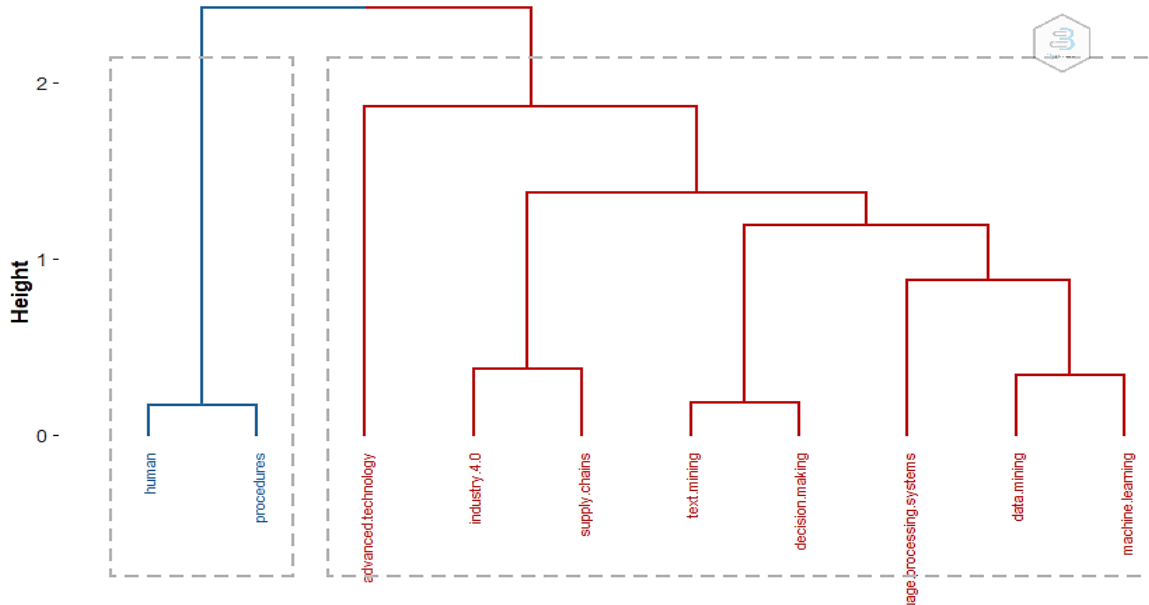
### Figura 11

*Porcentaje de documentos por área temática*



*Nota:* Tomado de Scopus, 2021

Para finalizar, se construye un dendograma con el fin de identificar los principales grupos y sus elementos próximos como se muestra en la Figura 12. Los resultados arrojan dos clústeres para los artículos revisados, uno en color rojo con ocho observaciones y el otro en azul con dos, donde los términos *humano* y *procedimientos* son los más similares, ya que la altura del enlace que los une es la más pequeña. Los siguientes dos objetos más similares son *minería de texto* y *toma de decisiones*. La gran diferencia entre los clústeres está entre el clúster de humano y procedimientos, frente al de tecnologías avanzadas, Industria 4.0, cadenas de suministro, minería de texto, toma de decisiones, minería de datos y aprendizaje automático.

**Figura 12***Dendrograma*

*Nota:* Tomado de Rstudio, 2021

## 5.2 Análisis preliminar de literatura

El análisis preliminar de literatura es un primer acercamiento en la literatura sobre la temática planteada. Por tal motivo, Arnau Sabatés y Sala Roca (2020) plantean en la fase IV de su desarrollo metodológico la organización y análisis de los resultados de la búsqueda por medio del método de índices. Este método se basa en desglosar desde un índice general, los temas y subtemas relacionados con el tema de estudio de acuerdo con las referencias. Este método permite sintetizar y analizar los artículos de una manera secuencial y coherente, lo cual posibilita en esta etapa de revisión la redacción y discusión de los resultados como fase V de la metodología adoptada.

### 5.2.1 Factores influyentes en la adopción de tecnologías 4.0

A partir de la revisión de literatura se identificaron 40 factores que inciden en la aplicación de tecnologías 4.0 en las áreas de conocimiento de la sociedad. No obstante, como se ilustra en la

Figura 13, gran cantidad de autores coinciden en que la falta de capacitación y experiencia técnica, la disponibilidad de infraestructura técnica (hardware y software), el nivel de inversión de capital, los costos, seguridad y confianza en la información, interoperabilidad entre programas y equipos, capacidad de almacenamiento y gestión de grandes volúmenes de datos, regulaciones y políticas gubernamentales, y expectativas de los consumidores son los principales factores.

### Figura 13

*Principales factores para la apropiación de tecnologías 4.0 según literatura*



Con el fin de identificar las áreas de conocimiento con la que se asocian los factores mencionados en cada artículo revisado, se realiza una relación en la Tabla 5 entre los campos de aplicación y las respectivas áreas de conocimiento (Ministerio de Educación Nacional, 2019).

### Tabla 5

*Asociación de campos a áreas del conocimiento*

Campos de aplicación	Áreas del conocimiento
Finanzas	
Economía	Economía, Administración,
Recursos Humanos	Contaduría y afines.
Cadena de Suministro	

Continuación Tabla 5

*Asociación de campos a áreas del conocimiento*

<b>Campos de aplicación</b>	<b>Áreas del conocimiento</b>
Sistemas de producción	
Logística	Economía, Administración,
Auditoría	Contaduría y afines
Salud	Ciencias
Química	de la Salud
Agricultura	Agronomía, Veterinaria y afines
Arte	Bellas
Moda	Artes
Educación e investigación	Ciencias de la Educación
Historia	Ciencias Sociales y Humanas
Tecnología	
Construcción	Ingeniería, Arquitectura,
Ingeniería	Urbanismo y afines

De acuerdo con Golovina et al. (2020), la Cuarta Revolución Industrial y las nuevas tecnologías determinan el futuro del sistema de gestión de la producción, donde el aumento de la competencia en el mercado laboral cualificado destaca entre las principales tendencias. Todas las empresas, grandes, medianas y pequeñas requieren recursos humanos con habilidades para las nuevas tecnologías y aplicaciones en la Industria 4.0 (C. Lee & Lim, 2021), entre las cuales no solo se conciben las habilidades técnicas relacionadas con la implementación de tecnologías, sino también las habilidades blandas como el liderazgo, el cual favorece la apropiación de una nueva

cultura y ambientes de colaboración interorganizacional. A manera de ejemplo, en la industria de la construcción, el nivel de familiaridad y uso previo por parte de la fuerza laboral de tecnologías como la automatización y la robótica son factores influyentes en su adopción (Oke et al., 2019).

Sin embargo, disponer del recurso humano capacitado y experimentado es ineficaz ante la ausencia de una infraestructura adecuada. Por lo tanto, es necesario que toda organización que desee adoptar tecnologías disponga de esta (Nguyen et al., 2020), de manera que se garantice no solo el correcto almacenamiento digital y gestión de la información, sino que también estén presentes los recursos y condiciones requeridas para su implementación y beneficio. En el caso de la robótica, la cual se concibe como un procedimiento automático que hace uso de máquinas programables para realizar una serie de tareas, el empleo de programas que gestionan el funcionamiento de la máquina es imprescindible para lograr su correcta operación.

Esta necesidad se plantea no solo para la robótica y automatización sino también para el big data (Aamer et al., 2021), el internet de las cosas (Nguyen et al., 2020), la computación en la nube (Shou et al., 2019), el blockchain (Pizzi et al., 2021), la realidad aumentada y virtual (Ahmed, 2019), los sistemas ciberfísicos (C. Lee & Lim, 2021), el aprendizaje automático (Qi et al., 2020) y la inteligencia artificial (Ramanathan & Ramasundaram, 2021). En la industria de la construcción se identifica que las empresas y los trabajadores del sector no suelen estar dispuestos a aceptar la innovación por razones como la falta de hardware o software fiable (Qi et al., 2020). Para algunas organizaciones la adquisición de infraestructura tecnológica puede resultar demasiado costosa por lo que el alquiler de recursos informáticos por medio de servicios en la nube se emplea como alternativa de solución (Gangwar & Date, 2016).

El nivel de gasto de capital que subyace a las tecnologías de la Industria 4.0 es bastante intensivo, lo que reduce su atractivo de implementación, especialmente para los sistemas de

producción de las empresas manufactureras ubicadas en el contexto de las economías en desarrollo (Tortorella & Fettermann, 2018). En la cadena de suministro de la industria alimentaria, Aamer et al. (2021) concluyen, a partir de diversos estudios, que los costos de operación y mantenimiento del internet de las cosas tienden a disminuir el interés de las empresas en su adopción. Asimismo, Cagliano et al. (2021) manifiestan que los costos de implementación de las tecnologías en las cadenas de suministro son altos principalmente por tres razones: ausencia de habilidades digitales adecuadas, estructuras organizativas inadecuadas y malos niveles de ciberseguridad que no siempre garantizan la realización correcta de las actividades.

La Industria 4.0 proporciona grandes beneficios, pero también riesgos representados principalmente por la exposición de los sistemas informáticos a nuevas amenazas (Arreola García, 2019). En relación con esto, Galati & Bigliardi (2019), aseguran que el almacenamiento en la nube impone varios requisitos en términos de seguridad virtual junto con la confidencialidad de la información lo cual se concibe como un factor crucial a la hora de diseñar una solución inteligente. La apropiación de blockchain, en algunos casos, puede estar impulsada por el deseo de aminorar dichas ciberamenazas debido a su capacidad de proteger los datos durante el intercambio de información en tiempo real generando confianza entre las partes interesadas. Por lo tanto, uno de los principales sectores donde se evidencian mayores aplicaciones de esta tecnología es el sector financiero, sin embargo, estas características se utilizan también en aplicaciones no financieras como licencias, registros médicos, tarjetas de identificación, firmas, contratos, etcétera. En las cadenas de suministro, en las cuales se evidencian varias limitaciones, las características de interoperabilidad que proporciona el blockchain, junto con sus propiedades de ciberseguridad, permiten afrontar de manera más sencilla los desafíos y riesgos existentes (Mukherjee et al., 2021).

La interoperabilidad entre programas y sistemas constituye también un factor fundamental para la adopción tecnológica, especialmente en las cadenas de suministro multinivel, las cuales están compuestas por complejas estructuras de red por lo que el principal desafío es asegurar su adecuada vinculación (Zhou et al., 2021). Al garantizar la interoperabilidad se puede lograr un aumento en la productividad ya que se puede trabajar de manera coordinada a lo largo de todo el proceso productivo. En el contexto del internet de las cosas, la interoperabilidad es un gran reto que debe plantearse para la integración y el desarrollo de nuevas plataformas, debido al alto grado de heterogeneidad de las diferentes capacidades de comunicación de los dispositivos. Ahmad et al. (2020) identificaron en estudios previos la compatibilidad y complejidad tecnológica como principales antecedentes de la adopción de nuevas innovaciones.

Ahora bien, las regulaciones y políticas gubernamentales constituyen el penúltimo factor identificado en la revisión de literatura. Entre las investigaciones, se destacan los aportes de Lee & Lim (2021), en los cuales se expone que las políticas y regulaciones gubernamentales son esenciales para la Industria 4.0, pero que varían según el país. Además, los resultados de la investigación de Ratnasingam et al. (2019) subrayan la necesidad de incentivos y de una dirección política clara, si se quiere que esta aspiración de aumentar el uso de tecnologías automatizadas se haga realidad lo antes posible. Por ejemplo, en países como Chile, la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 ha quedado en manos del mercado, pues a pesar de que el país ha establecido políticas públicas para apoyar la adopción, los esfuerzos han sido insuficientes dada la magnitud de esta revolución (Gatica Neira y Ramos Maldonado, 2020). En cambio, en Alemania los esfuerzos por parte del gobierno por fomentar la industria 4,0 han sido más notorios debido a que fue el precursor de este fenómeno. Entre estos se destacan las estrategias de alta tecnologías 2020

y la plataforma Industria 4.0, la cual permitió que las pymes probaran las nuevas tecnologías y accedieran a material educativo sobre la temática (Schroeder, 2016).

Además, las expectativas y necesidades de los consumidores han influido en la adopción de diferentes tecnologías 4.0. En las cadenas de suministro de alimentos, la alta competencia en el mercado global y las expectativas de los consumidores han llevado a las empresas agrícolas a invertir en tecnologías modernas como el blockchain ya que genera confianza digital entre productores y consumidores (Mukherjee et al., 2021). Estos últimos exigen un ciclo de vida del producto más corto y mayor calidad por lo que la transparencia del proceso de suministro de los productos alimenticios es necesaria (Aamer et al., 2021). La incursión de nuevas tecnologías ha cambiado el comportamiento de los consumidores, sus demandas son cada vez más altas en aras de contar con productos y/o servicios de mayor calidad, en menor tiempo y a un costo alcanzable. Este factor impone en las organizaciones la necesidad de mejorar la calidad de la oferta y la eficiencia de las operaciones para cumplir con estos requerimientos y aumentar su competitividad.

Para el campo de la investigación se identificaron pocos estudios a nivel nacional que soportaran la identificación de factores que influyen en la apropiación de tecnologías de la Industria 4.0. Sin embargo, la Revista Española de Documentación Científica publicó en el 2016 un estudio sobre los factores determinantes en la producción científica de los grupos de investigación en Colombia que permitió concluir que “el capital tecnológico a través de la dotación tecnológica (laboratorios, equipos de cómputo y software suficientes para la investigación) influye directamente sobre los resultados obtenidos en producción científica por parte de los grupos de investigación” (Rueda Barrios y Rodenes Adam, 2016, p.14).

Asimismo, es de resaltar que la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) es una actividad clave para el acercamiento de cualquier organización o país a la cuarta revolución

Industrial. Sin embargo, en Colombia, su inversión es escasa en comparación con otros países latinos. En 2019, se estudió la procedencia de los recursos de I+D para actividades de ciencia, tecnología e innovación y se identificó que estos provenían en un 38.8% de empresas, un 23.1% de centros de investigación, un 17.7% de instituciones de educación superior y el porcentaje restante de organizaciones gubernamentales, hospitales, etcétera (Velasco Chaves et al., 2020).

Esto demuestra que el mayor porcentaje de inversión corresponde a recursos de empresas por lo que quizá los grupos de investigación y las instituciones de educación superior deban fortalecer estas inversiones para aumentar los conocimientos en torno a la Industria 4.0 y mejorar la apropiación de tecnología 4.0. Por otra parte, en el caso de Alemania, en la implementación de la Industria 4.0 los resultados de la investigación han sido un criterio clave para el éxito en la competencia internacional y para la competitividad de Alemania como ubicación industrial. Otros factores de éxito importantes incluyen conectar a todas las partes interesadas y transferir los resultados de la investigación rápidamente a través de la práctica industrial (VDMA, 2016).

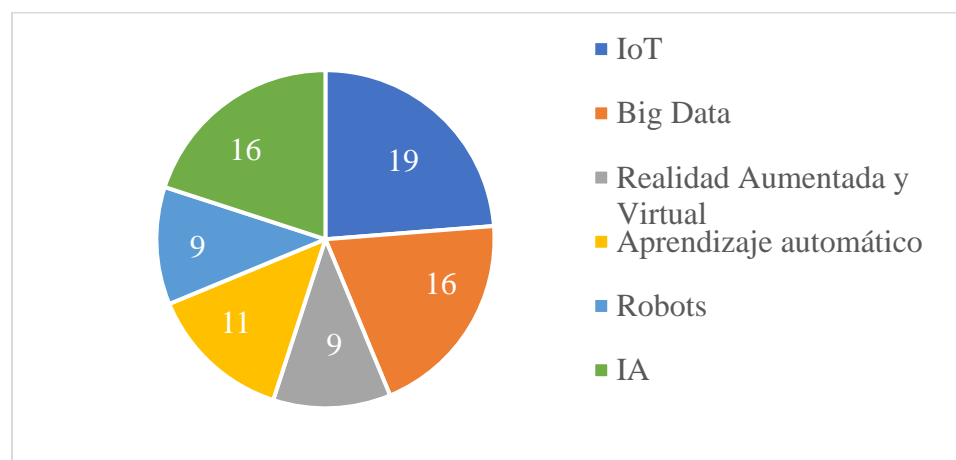
Finalmente, la vinculación entre el sector productivo, el estado y la academia puede considerarse también un factor influyente en la adopción de nuevas tecnologías de la Industria 4.0. Esto, dado que una sinergia entre estos actores puede proporcionar conocimientos no solo para la investigación, la innovación exitosa y el desempeño económico (Ramírez Montoya, 2019) sino también para establecer estrategias que faciliten el uso de las nuevas tecnologías. En un estudio elaborado por Consultores de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe se propone la articulación entre empresas proveedoras y grupos de investigación en universidades y Centros de Ciencia y Tecnología, para acelerar el proceso de investigación, difusión de nuevas tecnologías y desarrollo en las compañías (CEPAL, 2019).

### 5.2.2 Tecnologías de la Industria 4.0

La Cuarta Revolución Industrial está caracterizada por el crecimiento exponencial de las tecnologías por lo que en esta se evidencia una fusión de los sistemas físicos, digitales y biológicos, para generar una red de producción inteligente (Rozo García, 2020). Para describir este hito histórico que representan las tecnologías 4.0, diversos autores en la literatura emplean términos como tecnologías habilitadoras, tecnologías avanzadas, tecnologías 4.0, tecnologías disruptivas y tecnologías emergentes. De acuerdo con la literatura, se concluye que el internet de las cosas, el big data, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, realidad aumentada, realidad virtual y robots son las tecnologías más mencionadas, como se evidencia en la Figura 14.

#### Figura 14

*Principales tecnologías de la Industria 4.0 según literatura*



De acuerdo con Rueda Rueda et al. (2017), el internet de las cosas es usado en grupos de investigación como herramienta pedagógica para la operación de laboratorios de manera remota y creación de plataformas de monitoreo y acción sobre ambientes físicos para el aprendizaje colaborativo. El internet de las cosas también ha sido examinado en proyectos de investigación posdoctoral realizados en centros y grupos de investigación. Adicionalmente, Cagliano et al. (2021) en su estudio *Determinants of digital technology adoption in supply chain. An exploratory*

*analysis*, afirma que el internet de las cosas puede tanto reducir los tiempos de entrega y almacenamiento y los costos logísticos como facilitar la monitorización del sistema de producción mediante el mantenimiento predictivo y el diagnóstico remoto.

El Foro Mundial de Manufactura (WMF) enfatizó que la industria manufacturera es la fuerza impulsora de la economía global y que se avecina una sociedad basada en big data (C. Lee & Lim, 2021). Por ejemplo, Shanmuga Sundari & Subaji, (2016) demuestran en su estudio *big data analytics in healthcare system for diverse perspectives* que la analítica de big data en el ámbito de la salud predice enfermedades a partir de datos históricos, de modo que la predicción de epidemias y reacciones adversas a los medicamentos mejora la calidad de vida y evita las enfermedades prevenibles con mayor antelación. En este sentido, la recopilación e integración de big data constituye una de las tareas más importantes para habilitar la Industria 4.0 porque los datos son recursos para capacitar a la inteligencia artificial para trabajos en las industrias.

Relacionado con esto, investigadores del Instituto Tecnológico de Dinamarca han estado trabajando en el desarrollo de un sistema basado en la robótica que utiliza la inteligencia artificial para clasificar los residuos peligrosos como parte del proyecto *Adaptive Automated Waste Electrical and Electronic Equipment Sorting Battery Extraction* (Sarc et al., 2019). Asimismo, se evidencian aplicaciones en otros campos como el arte, donde la inteligencia artificial se aplica al análisis del lenguaje dramático para el procesamiento de la gramática, semántica y fonología de las líneas, de modo que se puede mejorar el nivel de interpretación del personaje. Además, acorta en gran medida el tiempo de creación del arte dramático, reduce su costo y adapta fácilmente el contenido a la tendencia de la época (Lyu & He, 2021).

Por otro lado, Ramanathan & Ramasundaram (2021) demostraron la pertinencia de la aplicación del aprendizaje automático en la detección y clasificación de pacientes positivos por

Covid- 19 en las tres etapas: leve, moderada y grave. Los resultados experimentales muestran la alta precisión para la clasificación con un número mínimo de veces y buenos resultados. De igual forma, los métodos de minería de texto y los algoritmos de aprendizaje automático se han utilizado para analizar tendencias tecnológicas con datos de patentes, comprender a los clientes que utilizan datos de reseñas de hoteles y describir campos de investigación específicos con documentos científicos (C. Lee & Lim, 2021).

Con relación a la realidad virtual, los campos de su aplicación se están extendiendo actualmente al ámbito de los deportes, ya que la realidad virtual proporciona un entorno de ocio libre de las diversas limitaciones a las que se enfrentan los deportes reales (Bum et al., 2018). Adicionalmente, en el campo de la historia y educación se evidencian aplicaciones en torno a la recreación de restos históricos lo cual ha permitido que los estudiantes de educación en historia pueden aprender usando el contenido de realidad virtual y los turistas del sitio pueden percibir el contenido de realidad aumentada (Lim, 2019).

Por otra parte, el desarrollo de sistemas de colaboración humano-robot es un concepto esencial en la Industria 4.0. Ejemplos de temas específicos en la literatura incluyen el desarrollo de modelos de cooperación humano-robot para tareas asistidas en el taller en fábricas, temas de seguridad y protección (C. Lee & Lim, 2021). Especialmente en el sector industrial, los llamados robots colaborativos o "cobots", están especialmente diseñados para trabajar con personas en el mismo entorno de trabajo. Los cobots se utilizan, por ejemplo, para finalizar un proceso de trabajo iniciado por un trabajador humano, o viceversa (Sarc et al., 2019).

Finalmente, en el caso de los grupos de investigación, se identifica que en Alemania existen grupos o institutos con varios proyectos de aplicación de la Industria 4.0 que van, desde servicios de consultoría, Transformación Digital de la industria, automatización de procesos para una

ingeniería eficiente y aplicación de internet de las cosas para las cadenas de suministro, hasta entornos de simulación híbrido compuestos de sistemas ciberfísicos y tecnología de automatización real (VDMA, 2016). La mayoría de estos grupos realizan investigación aplicada con las empresas de la región, dando importancia especialmente a la pymes, es decir, se evidencia un trabajo mancomunado entre los grupos de investigación y la industria.

En otro estudio realizado en Alemania se identificó que la infraestructura técnica de la Industria 4.0, la cual está compuesta por sistemas ciberfísicos, internet de las cosas, manufactura aditiva, robots, cobots móviles y comunicación M2M, impactan áreas como la planificación y el control de la producción. Asimismo, es probable que el abastecimiento, el transporte y las ventas se transformen con el análisis de datos, los componentes de inteligencia artificial de la Industria 4.0 y con tecnologías de comunicación como servicios en la nube, cadena de bloques, productos inteligentes e identificación por radiofrecuencia (Ivanov et al., 2021).

### ***5.2.3 Métodos de recolección y análisis de datos***

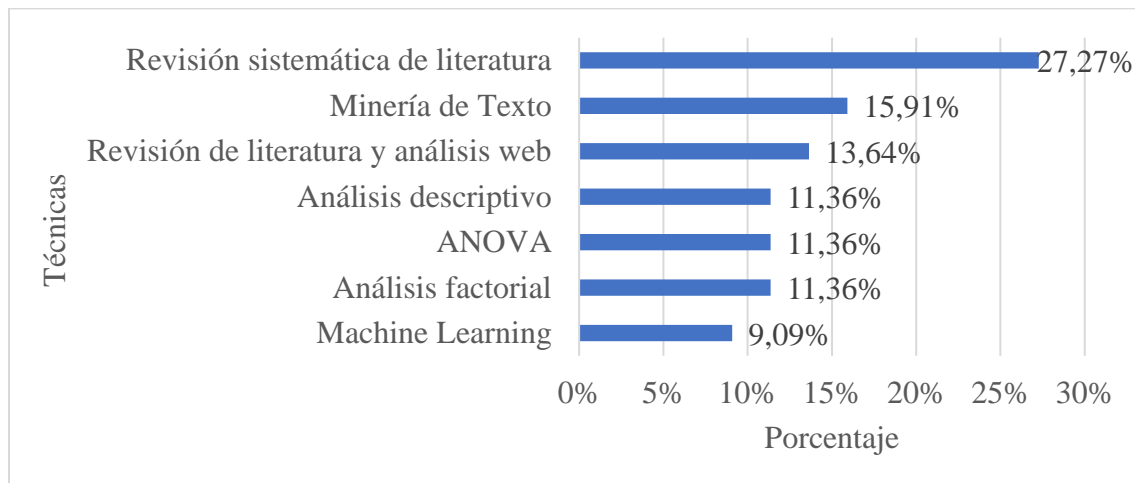
De acuerdo con los artículos seleccionados, se identificó que la técnica principal para el tratamiento de los datos y la información en los artículos de investigación consultados fue la revisión sistemática de literatura, seguida de la minería de texto, la revisión de literatura y análisis de contenido web, el análisis descriptivo, el Análisis de Varianza (ANOVA), el Análisis Factorial y el machine learning o aprendizaje automático, como se observa en la Figura 15.

Si bien la técnica más utilizada corresponde a un análisis cualitativo, también se implementan técnicas cuantitativas novedosas como la minería de texto y machine learning. En resumen, las técnicas cualitativas representan el 41% del total de técnicas implementadas por autores, es decir, el 59% corresponde a técnicas cuantitativas. Se concluye entonces que el estudio

de los factores que influyen en la aplicación de tecnologías 4.0 se ha abordado proporcionalmente desde ambas perspectivas.

### Figura 15

#### *Principales técnicas de análisis de datos según literatura*



A raíz de lo anterior, se encuentra coherente que los principales métodos de recolección de datos sean a través de fuentes secundarias y la encuesta. En algunos artículos se implementa la entrevista como medio para complementar los resultados obtenidos en la encuesta ya que la interacción personal posibilita una mayor profundización e indagación sobre información adicional relevante (Al-Sayed & Yang, 2020; Gangwar & Date, 2016; Qi et al., 2020). Arcidiacono et al., (2019) plantean en su investigación una revisión de la literatura académica y entrevista a expertos de la industria con el fin de recopilar la información necesaria para diseñar la encuesta.

En síntesis, la revisión de literatura permite concluir que existe una diversidad de factores que influyen en la intención de apropiar tecnologías 4.0 los cuales involucran, desde el recurso humano, hasta las políticas y regulaciones de un país. A su vez, se identifica que el tema de estudio es amplio en diferentes contextos, sin embargo, la logística y la cadena de suministro son los

campos en los que toma mayor relevancia la apropiación de tecnologías 4.0, principalmente para las cadenas alimentarias y multinivel.

En el contexto de los grupos de investigación, la literatura es escasa; tanto para la identificación de aplicaciones tecnológicas como en el estudio de factores que influyen en su adopción. La investigación puede aportar valiosos beneficios en el progreso de la industria y la sociedad en general, mediante la difusión de nuevos conocimientos y experiencia en el uso de tecnologías.

El concepto de Industria 4.0 será foco de estudio en años venideros dada la diversidad de repercusiones que trae consigo. De acuerdo con Marin Fajardo (2021), el futuro de la Industria 4.0 consiste en la revisión y comparación de literatura académica de diferentes países para así conocer profundamente sobre el tema e implementar la propuesta que más se ajuste a las necesidades. Lo anterior permite interpretar el auge en investigación de la presente temática.

## **6. Resultados**

### **6.1 Análisis descriptivo**

Con los datos recopilados en la encuesta se desarrolla inicialmente un análisis descriptivo en Python para empresas y grupos de investigación de Santander (ver Apéndice H e I). Esto se realiza con el fin de proporcionar una base de conocimiento para el posterior análisis multivariante.

### 6.1.1 Empresas

Para el análisis descriptivo se calculan inicialmente las medidas de tendencia central como se evidencia en la Tabla 6. La codificación de las variables se encuentra en el Apéndice Q.

**Tabla 6**

*Medidas de tendencia central*

Medidas	Años de operación	Tamaño de la empresa
Mediana	3	2,5
Moda	3,5	4
Media	2,89	2,72
Desv. Est.	1,02	1,18

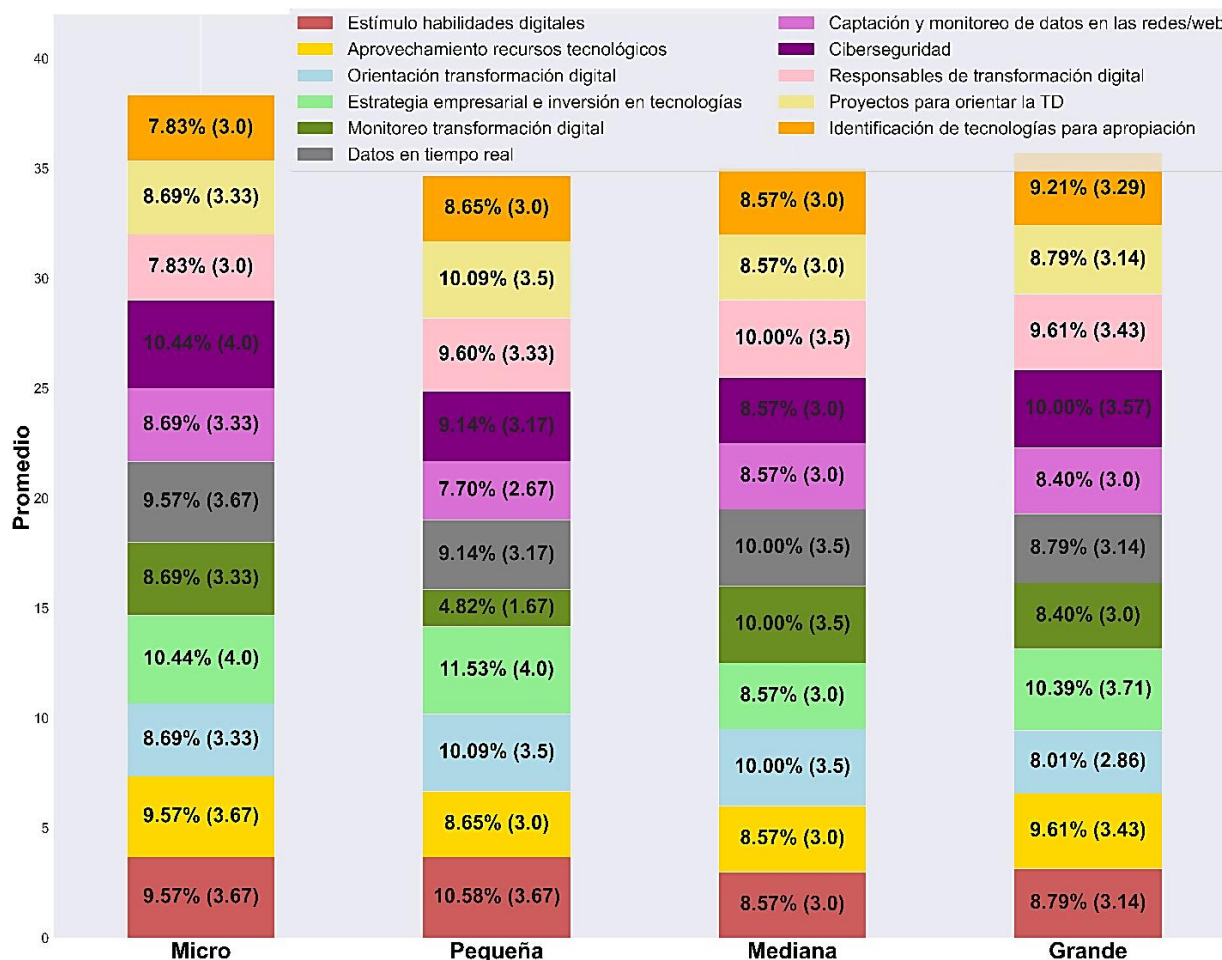
El número de años de operación de las empresas encuestadas varía entre menos de 5 años y más de 20 con una desviación estándar de 1.02. La alta variabilidad se debe a que en la muestra la mayoría de las empresas cuentan con más de 20 años de operación y menos de 5 años. En otras palabras, estos resultados permiten afirmar que la muestra está conformada principalmente por empresas jóvenes y maduras.

Por último, la muestra representa en mayor proporción a grandes y pequeñas empresas ya que se evidencia una desviación alta. Esto se debe a que la muestra también está conformada en un 33% por pequeñas empresas y en otro 33% por grandes empresas.

Posteriormente, se analiza qué tanto se acerca la situación actual de cada empresa a las afirmaciones planteadas sobre los componentes de Transformación Digital. Para esto se utiliza una escala de 1 a 4, donde 1 significa acercamiento nulo y 4 significa total acercamiento. En la Figura 16 los datos se agrupan por tamaño de empresa donde los porcentajes representan la porción de la variable en función de esta categoría.

**Figura 16**

*Acercamiento a la Transformación Digital por tamaño de empresa.*



Para las micro, pequeñas y grandes empresas la inversión en tecnologías se concibe dentro de la estrategia empresarial en mayor proporción que en las medianas empresas. Sin embargo, las microempresas presentan debilidades como la identificación temprana de tecnologías y la asignación de responsables que dirijan los procesos de Transformación Digital. Esto se debe a que representan el 7.83% con respecto a todas las variables.

Por otra parte, las fortalezas en las medianas empresas se evidencian en la orientación adecuada a los trabajadores en el proceso de Transformación Digital, el monitoreo de sus avances, la mejora para la toma de decisiones a partir de datos en tiempo real y la asignación de responsables

que lideren eficientemente este proceso en la empresa. En el caso de las pequeñas empresas las debilidades están representadas por el monitoreo de los avances en la Transformación Digital y en las grandes empresas por la orientación adecuada a los trabajadores en dicho proceso. Al analizar el promedio global por tamaño de empresa se identifica que las pequeñas y medianas (pymes) son las empresas que están más atrasadas en el proceso de Transformación Digital, las cuales obtuvieron en promedio un puntaje de 3,15 y 3,18 respectivamente.

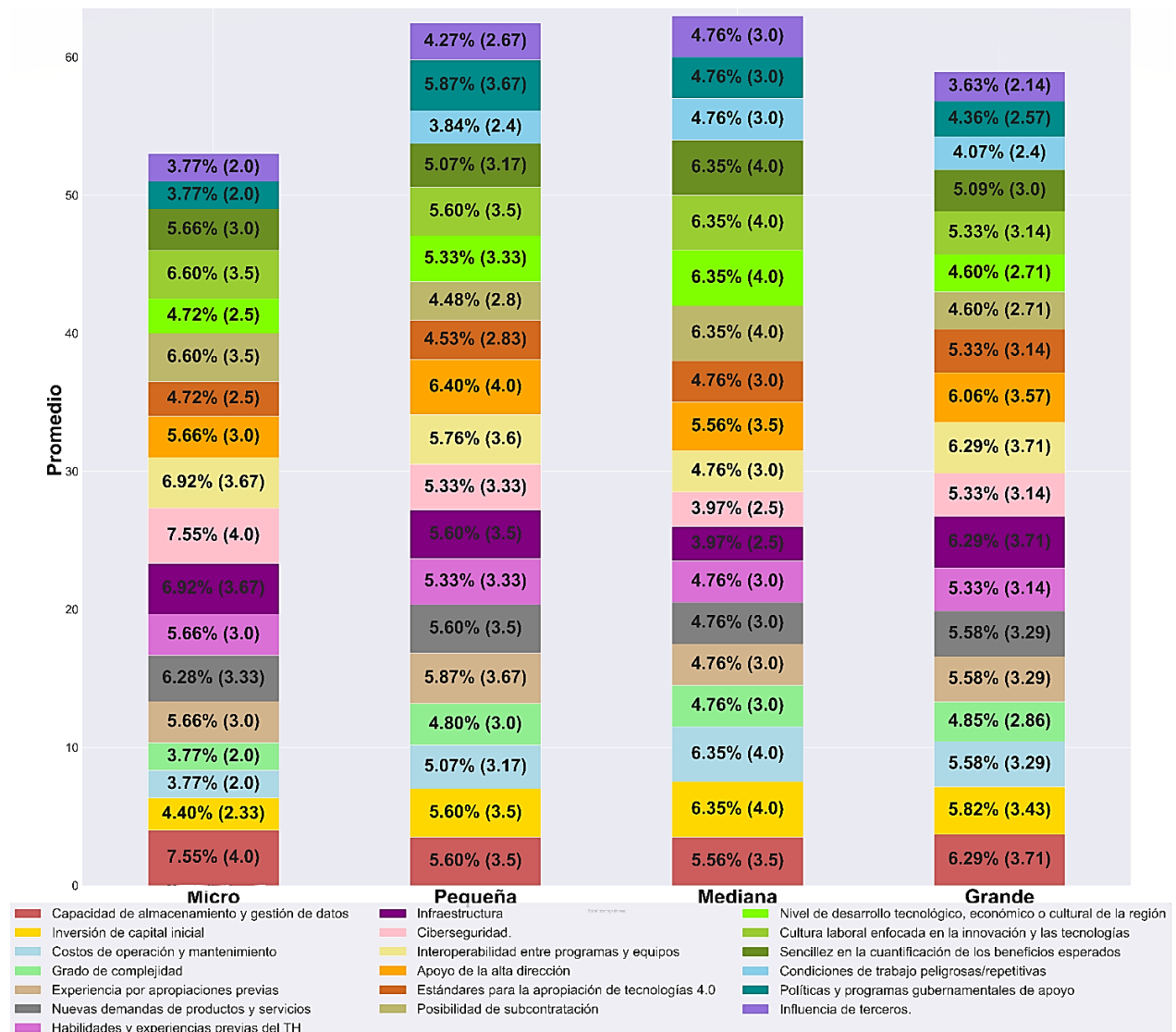
En la Figura 17 se muestran los factores que influyen en la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas de Santander. La escala va de 1 a 4, siendo 1 nada influyente y 4 significativamente influyente. El enfoque de la cultura laboral hacia la innovación, el nivel de desarrollo tecnológico, económico o cultural de la región, la sencillez en la cuantificación de beneficios esperados, el apoyo de la alta dirección y la inversión de capital inicial tienen un alto grado de influencia para la apropiación en comparación con los demás factores en las micros y grandes empresas. Sin embargo, para las pequeñas empresas la posibilidad de subcontratar tecnologías, la definición de estándares para la apropiación de tecnologías, la influencia de terceros y la existencia de condiciones de trabajo peligrosas y repetitivas no son factores significativamente influyentes.

En el caso de las microempresas, la subcontratación de tecnologías, la capacidad de almacenamiento y gestión de grandes volúmenes de datos, la ciberseguridad, la interoperabilidad entre programas y equipos y, la infraestructura de software y hardware disponible son consideradas como influyentes. En contraparte, los programas de apoyo gubernamental, la influencia de terceros, nivel de desarrollo tecnológico, económico o cultural de la región, definición de estándares para la apropiación de tecnologías, el grado de complejidad en el uso de las tecnologías, los costos de operación y mantenimiento son poco influyentes en el proceso de apropiación, donde se obtuvo una respuesta unánime de no aplicabilidad en sus operaciones para el factor de

condiciones de trabajo peligrosas o repetitivas. Particularmente, para las grandes empresas el grado de complejidad en el uso de tecnologías es el factor menos influyente, mientras que la capacidad de almacenamiento y gestión de grandes volúmenes de datos, la infraestructura tecnológica y la interoperabilidad entre programas son los factores más influyentes.

**Figura 17**

*Factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 por tamaño de empresa.*



Finalmente, se realiza un análisis que permite identificar los niveles de apropiación de las tecnologías de la Industria 4.0 de las empresas de Santander. Es de resaltar que un nivel nulo está

representado por el valor 1 y, un nivel alto por el valor 4. Como se evidencia en la Figura 18, la robótica y la automatización no están siendo empleadas en las microempresas.

De acuerdo con Cagliano et al. (2021), Oke et al. (2019) y Ribeiro et al. (2021), la robótica y la automatización se emplean principalmente cuando la organización desea automatizar las tareas repetitivas, mejorar la precisión y evitar la exposición de los trabajadores a tareas peligrosas. Por lo tanto, el nivel nulo de apropiación de este tipo de tecnologías en las microempresas puede estar explicado por lo identificado en la Figura 17 relacionado con la inexistencia de condiciones de trabajo peligrosas o repetitivas en este tipo de empresas. No obstante, es de resaltar que, en las medianas empresas el nivel de apropiación de robótica y automatización fue más alto en comparación con las demás empresas, es decir, estas empresas sí consideran como factor influyente las condiciones de trabajo presentes en sus operaciones.

En general, puede decirse que la apropiación de tecnologías 4.0 en las microempresas de Santander es baja ya que solo la computación en la nube y la analítica de datos sobresalen por un nivel de apropiación mayor a 3. En el caso de las pequeñas empresas, el panorama no es muy diferente, pues solo la computación en la nube representa un nivel de apropiación similar.

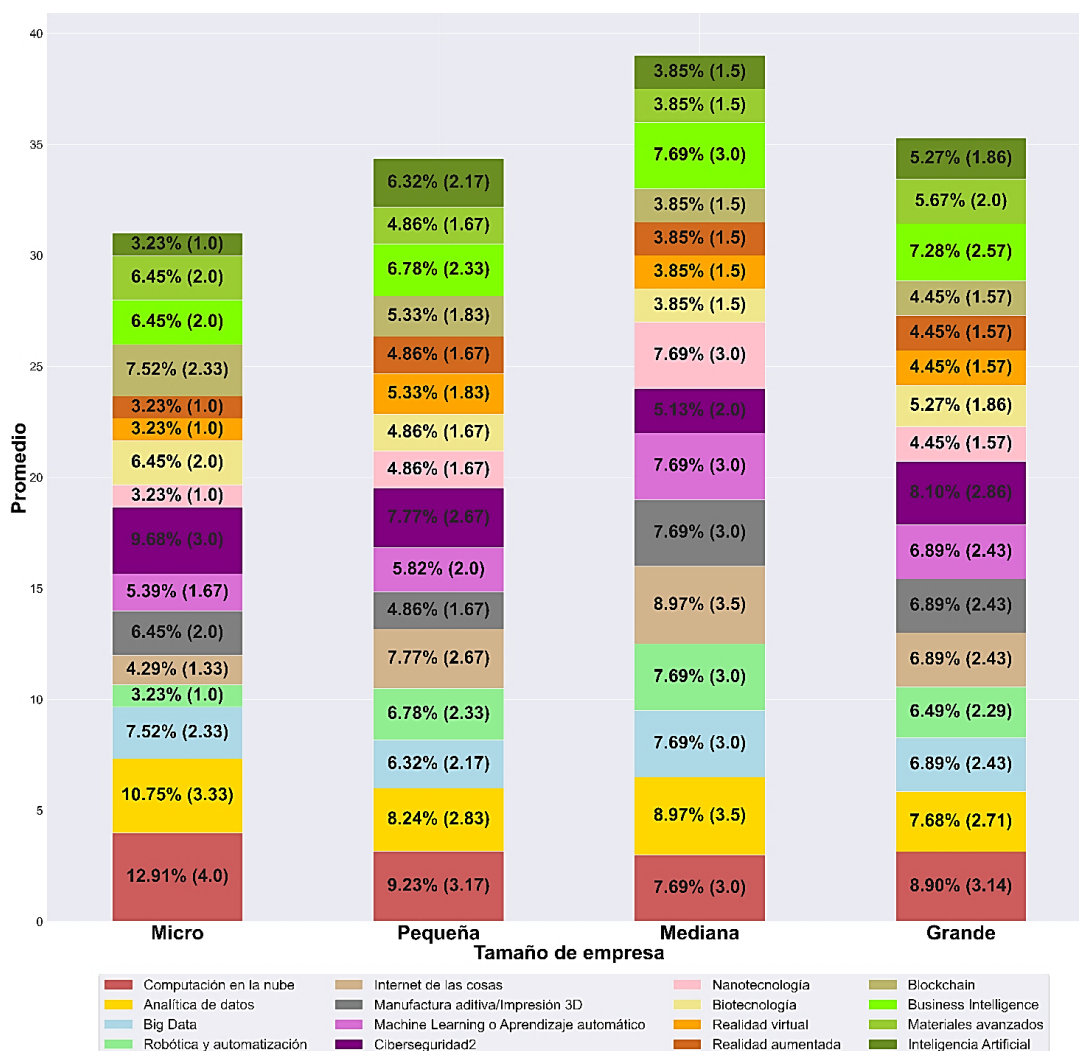
Por otra parte, las medianas empresas evidencian niveles de apropiación mayores que 3 para varias tecnologías; entre estas, computación en la nube, analítica de datos, big data, robótica y automatización, internet de las cosas, manufactura aditiva, nanotecnología, etcétera. Evidentemente, hay una mayor apropiación de tecnologías 4.0 en empresas medianas que en micro y pequeñas empresas. De acuerdo con Velasco Chaves et al. (2020), las empresas de menor tamaño están menos dispuestas a implementar soluciones tecnológicas ya que las ven como un gasto en comparación con las medianas empresas que, además, cuentan con talento humano capacitado para

su aprovechamiento. En el caso de las grandes empresas, la tecnología que evidencia un nivel de apropiación mayor a 3 es la computación en la nube.

Asimismo, desde un punto de vista global, es posible identificar que la realidad aumentada, la realidad virtual, la biotecnología, la inteligencia artificial y la nanotecnología son las tecnologías menos apropiadas. No obstante, la computación en la nube se identifica como la tecnología mayormente empleada en las empresas resaltando que, para el caso de las medianas empresas, se evidencia una ligera mayor apropiación en la analítica de datos y el internet de las cosas.

**Figura 18**

*Tecnologías 4.0 apropiadas por tamaño de empresa.*



Basándose en la exploración realizada a las 18 empresas en Santander se plantean las siguientes tres hipótesis sobre apropiación de tecnologías 4.0.

H0: Las tecnologías más apropiadas en las empresas de Santander son la computación en la nube y la analítica de datos.

H1: Las tecnologías más apropiadas en las empresas de Santander no son la computación en la nube y la analítica de datos.

H0: Las medianas empresas tienen apropiadas más tecnologías que las micro y pequeñas empresas.

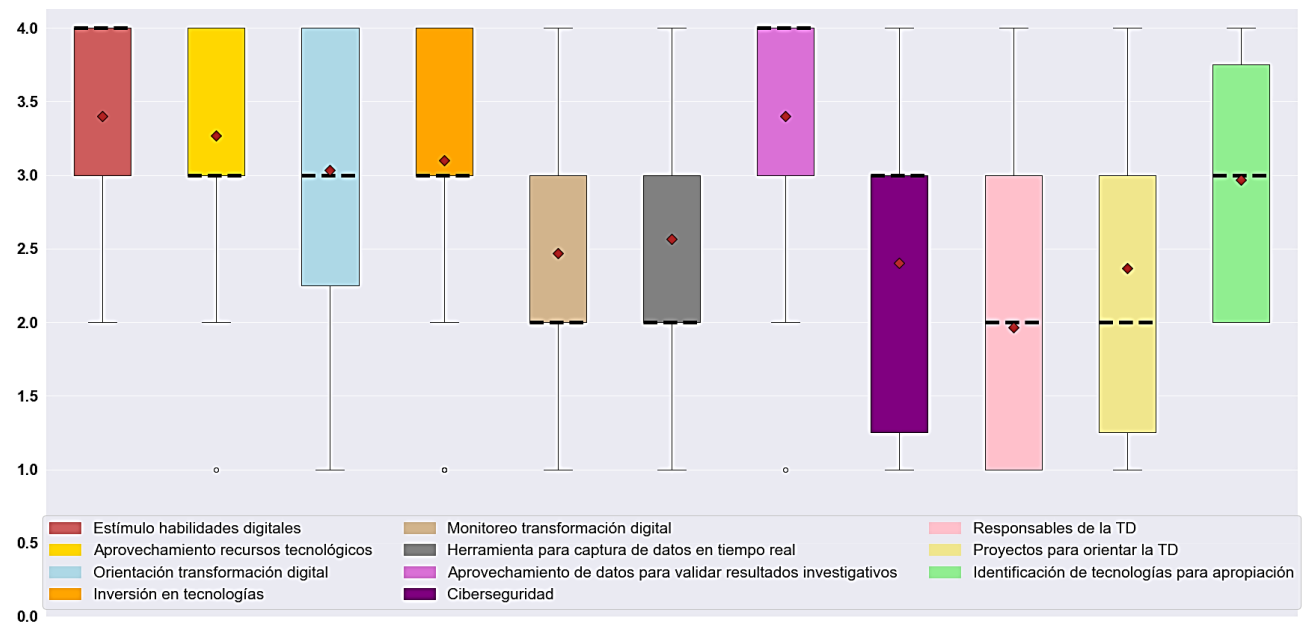
H1: Las medianas empresas no tienen apropiadas más tecnologías que las micro y pequeñas empresas.

H0: Las microempresas no tienen apropiada la robótica y automatización para sus operaciones.

H1: Las microempresas sí tienen apropiada la robótica y automatización para sus operaciones.

### **6.1.2 Grupos de investigación**

Para iniciar se realiza una gráfica de caja y bigotes con el fin de analizar el comportamiento de los datos relacionados a los avances en Transformación Digital de los grupos de investigación. La escala empleada para obtener los datos comprende valores entre 1 y 4, siendo 1 un acercamiento nulo al componente de Transformación Digital y 4 un acercamiento alto.

**Figura 19***Acercamiento a Transformación Digital en grupos de investigación de Santander*

A partir de la Figura 19 es posible identificar a simple vista que la definición de proyectos que orienten la Transformación Digital a partir de la adopción de tecnologías, la orientación de los miembros en la Transformación Digital, la identificación de tecnologías para su apropiación en las actividades del grupo y la asignación de responsables que dirijan la Transformación Digital son componentes con mayor variabilidad por su caja más alargada, lo que permite inferir que las opiniones de los encuestados estuvieron más divididas.

Por otro lado, el estímulo de habilidades digitales en los miembros y el aprovechamiento de los datos para validar los resultados investigativos son fortalezas para la mayoría de los grupos de investigación pues son los componentes que cuentan con mayor acercamiento a su realidad. Esto, debido a que la mediana se ubica en el tercer cuartil, siendo a su vez el tercer cuartil el valor máximo que podría tomar la escala, lo que permite inferir que el 75% de los datos se ubican entre un nivel 3 y 4, siendo estos los dos valores más altos. Por último, la asignación de responsables y

la generación de proyectos que orienten el proceso de Transformación Digital son debilidades en los grupos de investigación pues el 50% de los datos se encuentran entre un nivel 1 y 2, siendo los valores más bajos en la escala.

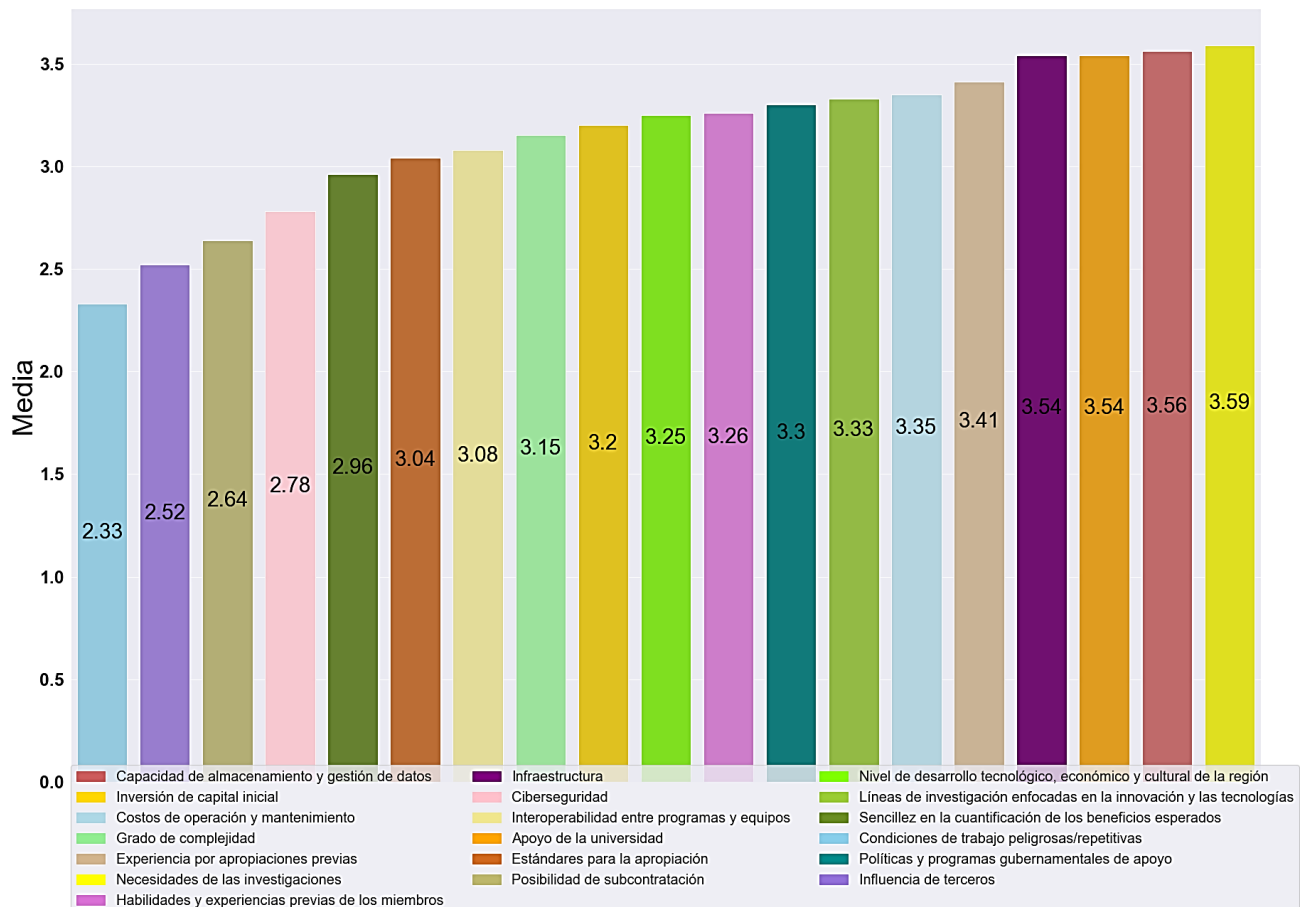
Para el análisis de los factores más influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación en Santander se emplea una gráfica de barras a partir del promedio de los datos obtenidos. La escala empleada comprende valores entre 1 y 4, siendo 1 nada influyente y 4 significativamente influyente.

En la Figura 20 se evidencia que la necesidad de realizar investigaciones con resultados más precisos, en un menor tiempo y reduciendo los costos es considerado el factor más influyente en la apropiación de tecnologías 4.0 en los grupos de investigación de Santander. Por lo tanto, el aprovechamiento de los datos por parte de los grupos de investigación resulta ser una actividad fundamental en el proceso investigativo donde tecnologías como la computación en la nube, el aprendizaje automático y/o la analítica de datos juegan un papel importante.

Al igual que en empresas, la capacidad de almacenamiento y gestión de datos es considerada también por los grupos de investigación como uno de los factores más influyentes. Asimismo, la disponibilidad de infraestructura tecnológica y el apoyo de la universidad a los grupos de investigación en el proceso de apropiación tecnológica son también factores influyentes. Lo contrario ocurre con las condiciones de trabajo peligrosas o repetitivas, la posibilidad de contratación de nuevas tecnologías y la influencia de terceros. Este último factor es poco influyente tanto para grupos de investigación como para empresas.

**Figura 20**

*Factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación de Santander*

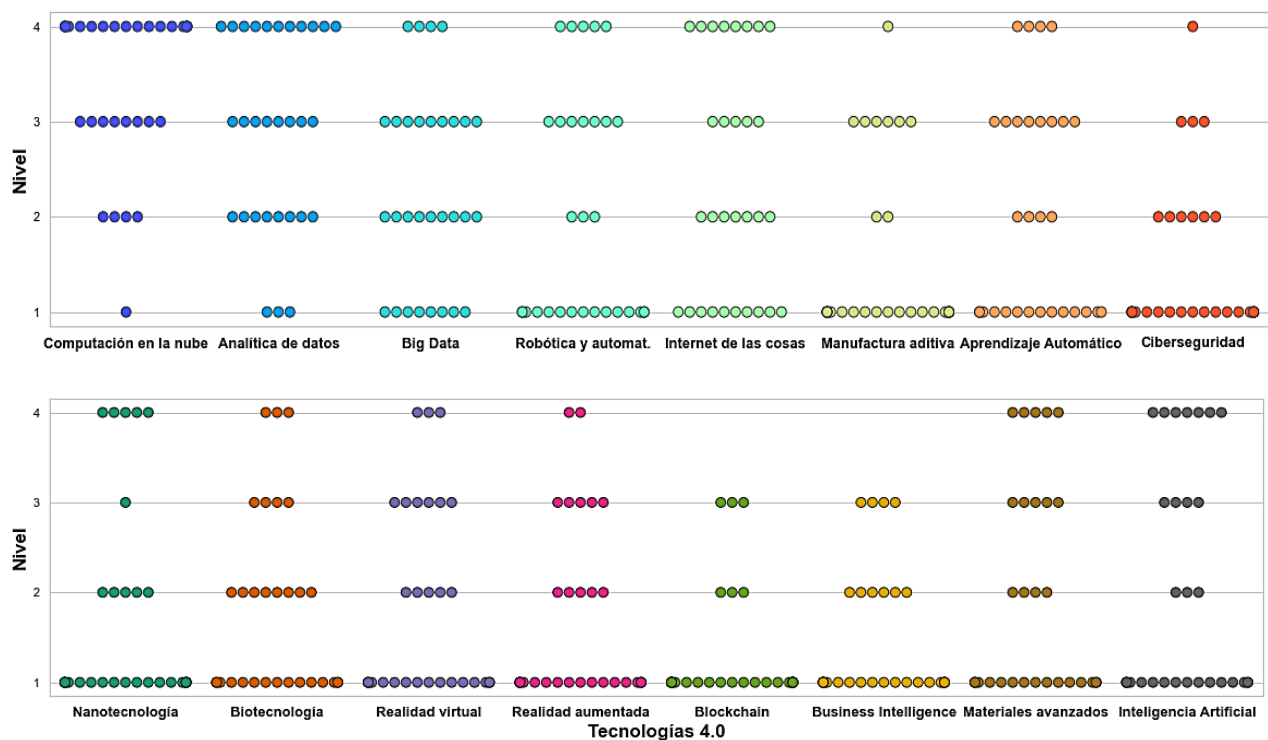


Finalmente, el análisis descriptivo para los grupos de investigación culmina con la identificación del nivel de apropiación de tecnologías 4.0. Para esto se emplea una gráfica de enjambre donde la escala empleada comprende valores entre 1 y 4, siendo 1 un nivel de apropiación nulo y 4 un nivel alto. En la Figura 21 se evidencia que, al igual que en empresas, la computación en la nube y la analítica de datos son las tecnologías con una tendencia más alta que las demás, pues sus datos se encuentran más concentrados hacia la parte superior de la gráfica. Sin embargo, con ciberseguridad y Business Intelligence se evidenció un uso más alto en empresas que en grupos de investigación, pues la mayoría de los resultados dan referencia a un bajo uso de esta tecnología.

En cuanto a inteligencia artificial, aprendizaje automático, big data, robótica y automatización e internet de las cosas se evidencia un nivel de uso medio pues la tendencia de sus datos se concentra hacia el centro. Por último, tecnologías como manufactura aditiva, nanotecnología, biotecnología, realidad virtual y aumentada, blockchain y materiales avanzados son tecnologías más rezagadas, es decir, su apropiación es débil en comparación con otras. Cabe resaltar que, a pesar de que la seguridad de datos fue identificada por los grupos de investigación como un factor medianamente influyente en la apropiación de tecnologías 4.0, no se evidencia una apropiación alta de este tipo de tecnologías en los grupos de investigación.

**Figura 21**

*Tecnologías 4.0 apropiadas por grupos de investigación de Santander*



Al igual que en empresas, se plantean tres hipótesis sobre la apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación en Santander.

H0: Las tecnologías más apropiadas en los grupos de investigación en Santander son la computación en la nube y la analítica de datos.

H1: Las tecnologías más apropiadas en los grupos de investigación en Santander no son la computación en la nube y la analítica de datos.

H0: La ciberseguridad y el Business Intelligence se emplean más en las empresas que en los grupos de investigación.

H1: La ciberseguridad y el Business Intelligence no se emplean más en las empresas que en los grupos de investigación.

H0: En los grupos de investigación el blockchain y el Business Intelligence son las tecnologías menos apropiadas.

H1: En los grupos de investigación el blockchain y el Business Intelligence no son las tecnologías menos apropiadas.

## **6.2 Análisis preguntas abiertas**

Esta parte del análisis de la encuesta consistió en la realización de una nube de palabras a partir de lo contestado en preguntas abiertas por empresas y grupos de investigación (ver Apéndice J y K). Las preguntas abiertas buscan comprender cómo ha sido, desde la perspectiva de los miembros y trabajadores, la apropiación tecnológica en sus organizaciones.

### **6.2.1 Empresas**

Se identifica en la Figura 22 que la mayoría de los encuestados tienen un cargo de gerencia o dirección. Estos coinciden en que la apropiación de tecnologías ha sido un proceso gradual más lento para unos que para otros. Las respuestas obtenidas indican que, para algunos, el proceso de apropiación de nuevas tecnologías hace parte de la estrategia organizacional con miras a alcanzar la excelencia y la calidad. También consideran que ha sido apoyado por el compromiso del

personal y se han evidenciado resultados satisfactorios. Sin embargo, otros encuestados reconocen el valor de incursionar en esta nueva industria pero han visto demoras por la falta de recursos y de conocimiento. La financiación, por su parte, se ha apoyado por los programas y convocatorias gubernamentales que han facilitado el acceso a los recursos y tecnologías para algunas empresas.

Suelen estar involucradas en este proceso las áreas de investigación y desarrollo pues las empresas buscan estar a la vanguardia de las nuevas tecnologías ya que es en estas áreas en donde se encuentran las habilidades y conocimientos que impulsan el desarrollo tecnológico en la organización. Por lo general, las empresas relacionan el término *tecnología* con el término *desarrollo* pues consideran que estas herramientas de punta les permitirán mejorar sus procesos y productos impactando de esta forma en el crecimiento de la empresa.

Entre los principales estímulos empresariales para la apropiación de tecnologías está incrementar la competitividad e innovación, perfeccionar y optimizar los procesos, fortalecer la innovación de productos, procesos y servicios, enriquecer la imagen corporativa, mejorar la calidad laboral para los empleados, atender las necesidades cambiantes de los clientes y poder brindarle alianzas estratégicas.

También, resalta la necesidad de gestionar y hacer seguimiento a datos, procesos y/o solicitudes, así como mejorar y mantener sistemas de información de calidad ya que el manejo de la información es concebido como una ventaja competitiva para las empresas hoy en día. Por ejemplo, en el sector del transporte se manifiesta la importancia de contar con sistemas de información en línea para el manejo de grandes volúmenes de datos donde el acceso a internet es vital debido a que este negocio está bastante descentralizado en el país.

Finalmente, en el sector salud, se requiere la apropiación de tecnologías 4.0 para mejorar los ajustados márgenes de ganancia y de eficiencia en los modelos contratados.

**Figura 22**

*Nube de palabras respuestas abiertas de empresas en Santander*

**6.2.2 Grupos de investigación**

En el caso de los grupos de investigación se identifica, a partir de la Figura 23, que el proceso de apropiación de tecnologías 4.0 ha sido lento y con escasez de recursos, especialmente para aquellos grupos donde las líneas de investigación no están directamente relacionadas con el área tecnológica y la innovación. Cuando las líneas de investigación pertenecen al área tecnológica, el proceso ha sido más activo y con aplicación en el sector empresarial. Los proyectos de investigación han sido un medio para llevar a cabo la apropiación de las nuevas tecnologías.

Por lo general, el financiamiento de las tecnologías depende de las inversiones y recursos de la universidad o de externos, así como de proyectos de investigación públicos y privados que permiten financiar la adquisición de los sistemas necesarios. Algunas de las actividades a implementar en los próximos dos años se relacionan con la generación de programas en posgrado alineados con las nuevas necesidades de habilidades y con generar soluciones tecnológicas de alto impacto social beneficiando el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



### **6.3 Análisis Factorial Exploratorio (AFE)**

El AFE de la encuesta aplicada a empresas y grupos de investigación en Santander se desarrolló en la herramienta Rstudio con apoyo de Excel. Para esto, se tomaron en cuenta las preguntas de tipo escala de Likert en la encuesta, es decir, las relacionadas con la Transformación Digital, las tecnologías de la Industria 4.0 y los factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 (ver Apéndice L y M).

Asimismo, en este análisis se analizaron estadísticos descriptivos calculados teniendo en cuenta las variables latentes (factores) identificadas en el AFE y se crearon gráficos de dispersión creados a partir de los *scores* o puntajes extraídos del modelo factorial. Se dividen a continuación los resultados obtenidos teniendo en cuenta la procedencia de los datos, es decir, si provienen de lo contestado por empresas o grupos de investigación.

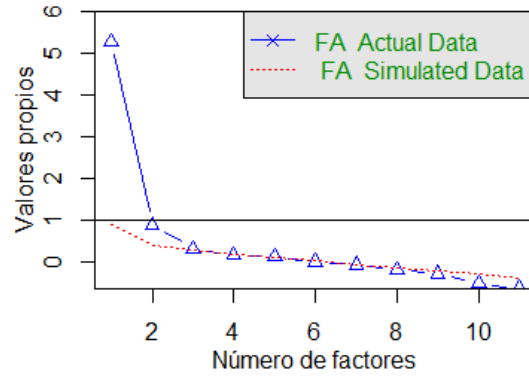
#### **6.3.1 Empresas**

La selección del número de factores para el AFE fue el primer resultado obtenido dentro de este análisis. En las Figuras 24, 25 y 26 se puede evidenciar la relación existente entre el número de factores posibles y los autovalores. La línea punteada roja representa la simulación aleatoria de autovalores que se obtuvo con similar número de variables y observaciones que la matriz original, mientras que la línea azul representa los autovalores reales que se generan a partir de la matriz original de datos.

Después de tener en cuenta diferentes criterios como el análisis paralelo, el criterio de Kaiser, el análisis de Scree Plot o gráfico de sedimentación y la interpretabilidad de los resultados, se llega a la conclusión de que el número final de factores adecuado para las preguntas relacionadas con la Transformación Digital, las tecnologías 4.0 y los factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas es 2, 4 y 3 respectivamente.

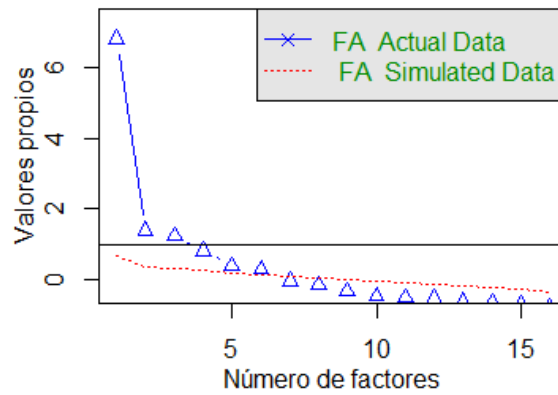
**Figura 24**

*Análisis Paralelo de la Transformación Digital en empresas*



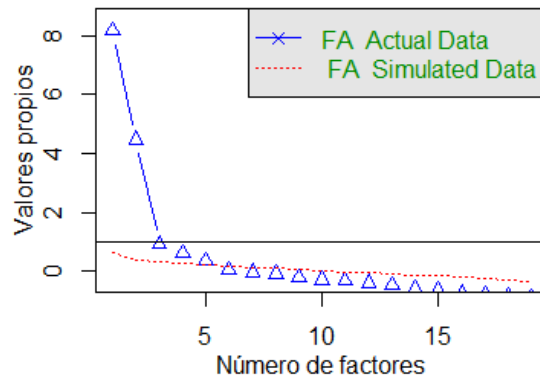
**Figura 25**

*Análisis Paralelo de Tecnologías de la Industria 4.0 en empresas*



**Figura 26**

*Análisis Paralelo factores influyentes en apropiación tecnologías 4.0 en empresas*

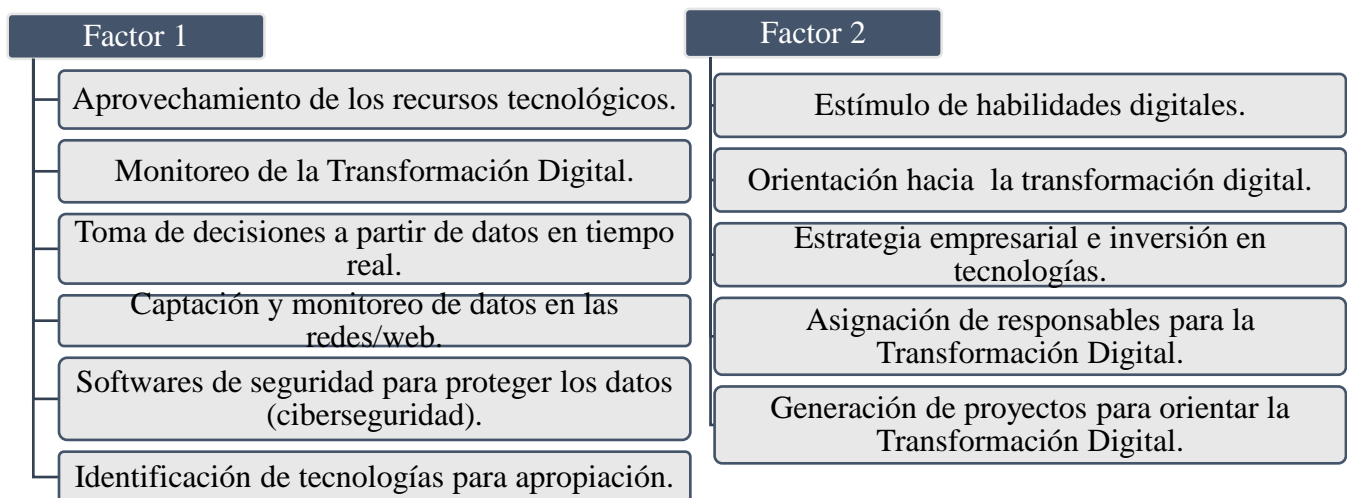


Con estos resultados se construyó y ejecutó el modelo factorial para luego obtener las cargas factoriales. Los archivos con las respectivas cargas factoriales, comunalidades y especificidades se encuentran en el Apéndice N.

**6.3.1.1 Transformación Digital.** Se identifican 2 factores relacionados con la situación actual de las empresas sobre la Transformación Digital. En el Apéndice S - hoja TD pueden consultarse los estadísticos descriptivos para las variables que conforman cada factor como complemento a los datos presentes en la Tabla 7.

### Figura 27

*Variables que conforman Transformación Digital en empresas*



De acuerdo con la Figura 27, el primer factor hace referencia a la importancia que tienen los datos y las tecnologías dentro de la Transformación Digital de las empresas. Es de resaltar que todas las variables que conforman este factor tienen una relación directa entre ellas.

Para que una Transformación Digital ocurra se debe, no solo contar con disponibilidad de recursos tecnológicos, sino también con previo conocimiento sobre estos. Es necesario que las empresas monitoreen los avances tecnológicos y comprendan las aplicaciones que estas pueden tener dentro de la organización para su beneficio (Rivoir y Morales, 2019).

De acuerdo con Roland Berger (2016), “el aprovechamiento de las palancas digitales permite reducir la base de costes en un total del 10% al 20%, impactando en prácticamente todas las funciones operativas” de la empresa (p.14). Además, los datos en tiempo real permiten mejorar el mantenimiento predictivo y prevenir fallos en los equipos (Roland Berger, 2016). Un último aspecto a resaltar es la ciberseguridad, principal factor de riesgo de las nuevas tecnologías financieras digitales (CEPAL, 2018). En Colombia, el hackeo a empresas ha ido en aumento por lo que la ciberseguridad se ha vuelto un asunto de atención para todos (Valoyes Mosquera, 2019).

Con respecto al segundo factor se evidencia que las variables que lo conforman hacen referencia principalmente a un componente humano para la Transformación Digital pues se relacionan temáticas como el estímulo de habilidades digitales en los trabajadores, la asignación de responsables y generación de proyectos que oriente la Transformación Digital, entre otras.

De acuerdo con la CEPAL (2018), el capital humano es un recurso imprescindible no solo para el desarrollo digital de las industrias, sino también para la transformación de las industrias tradicionales. Por tal motivo, se considera que la ausencia de capital humano con conocimientos digitales y especializados afecta negativamente el uso de las tecnologías digitales en Colombia. Además, la Transformación Digital puede iniciar a partir de las responsabilidades asignadas a las personas, quienes terminarán adoptando la digitalización como parte de su cotidianidad. Esto requiere de liderazgo y orientación de este proceso para garantizar los resultados esperados (Rosero García, 2019).

### **Tabla 7**

#### *Estadísticos descriptivos Transformación Digital en empresas*

<b>Tipo de empresa</b>	<b>Estadísticos</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
Micro-empresas	Media ( $\bar{X}$ )	3,50	3,47
	Desv. (S)	0,71	0,52

Continuación Tabla 7

*Estadísticos descriptivos Transformación Digital en empresas*

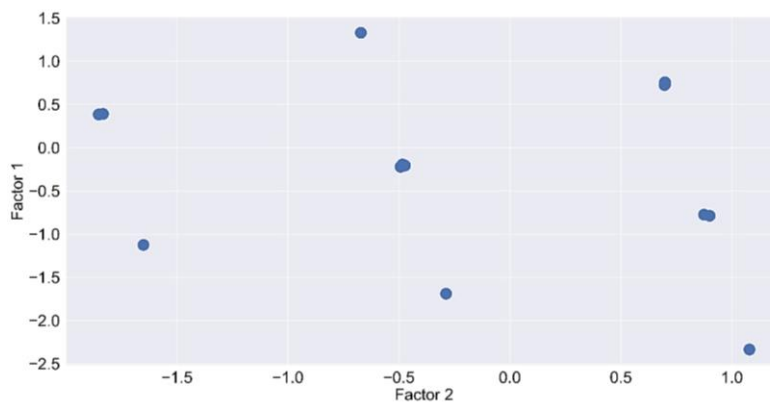
<b>Tipo de empresa</b>	<b>Estadísticos</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
Pequeñas	Media ( $\bar{X}$ )	2,78	3,6
empresas	Desv. (S)	1,045	0,56
Medianas	Media ( $\bar{X}$ )	3,17	3,2
empresas	Desv. (S)	0,94	0,92
Grandes	Media ( $\bar{X}$ )	3,24	3,26
empresas	Desv. (S)	0,73	0,85

En Tabla 7 se evidencian los resultados de las 18 respuestas de la encuesta aplicada a empresas. En esta se identifica que la realidad de las microempresas se asemeja más a lo representado por el primer factor, pues su media es mayor que en las demás empresas. En este caso, la desviación de los datos es pequeña por lo que se infiere que las respuestas entre los encuestados fueron muy similares. Sin embargo, no se evidencia un acercamiento alto en la identificación temprana de tecnologías 4.0 para su apropiación y el monitoreo de la Transformación Digital por medio de indicadores, donde sí se evidencia un alto acercamiento para las medianas y grandes empresas.

En cuanto al segundo factor, es posible identificar un mayor acercamiento por parte de las micro y pequeñas empresas pues su media resulta ser mayor que el resto. Sin embargo, no se evidencia una gran diferencia entre la media presentada por las medianas y grandes empresas, es decir, este factor es representativo para empresas de cualquier tamaño. Por otra parte, la asignación de responsables que dirijan el proceso de Transformación Digital de las empresas presenta rezagos pues el mayor acercamiento lo presentan las medianas y grandes empresas. Es de resaltar que la desviación de estos datos fue baja, donde incluso llegó a ser de cero para la variable relacionada con la definición de una estrategia empresarial que conciba la inversión de tecnologías.

**Figura 28**

*Puntuaciones del AFE para Transformación Digital en empresas*



Finalmente, de acuerdo con la Figura 28, es posible concluir que son más las empresas que se acercan al factor 1 (eje y) que al factor 2 (eje x) pues su distancia desde el eje x es menor que su distancia desde el eje y. Esto también se corrobora en la encuesta, pues el promedio de las calificaciones asignadas al primer factor (3.4) fue mayor que el del segundo (3.1).

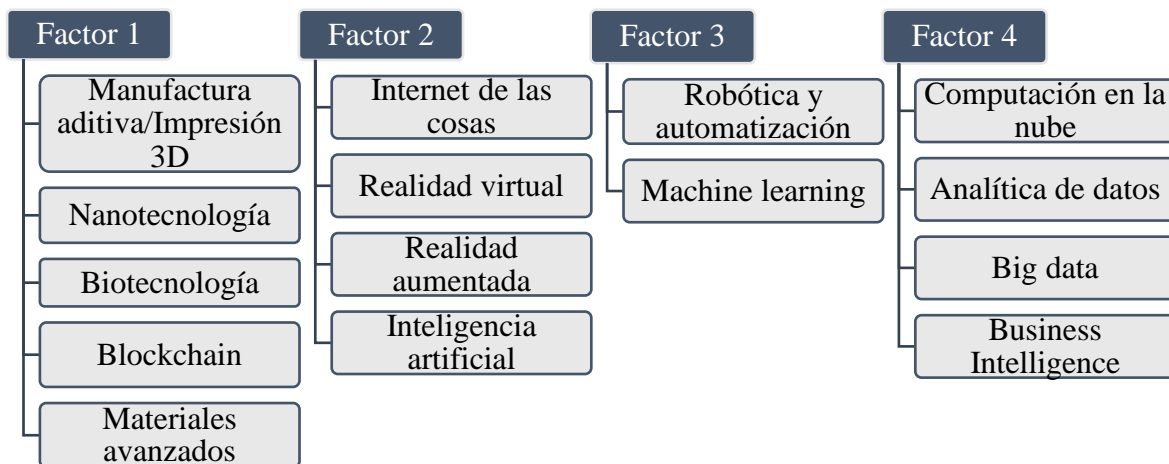
Además, es posible identificar que varias empresas se apilan en un mismo punto en varias partes del gráfico. Esto significa que las empresas que conforman dichas agrupaciones encontradas presentan un peso o puntuación similar dentro de todo el conjunto de datos. Sin embargo, de acuerdo con los puntajes del AFE que pueden consultarse en el Apéndice U - hoja TD, no se evidencia que estas agrupaciones estén dadas por el mismo tipo de empresa. Por ejemplo, la agrupación de empresas que se presenta en el primer cuadrante de la Figura 28 está conformada tanto por micro como pequeñas, medianas y grandes empresas.

De lo anterior, es posible concluir que la realidad de la mayoría de las empresas se asemeja más a lo descrito por las variables del factor 1 (10 empresas), que por las del factor 2 (8 empresas). Esto indica que hay una distribución casi igual entre las empresas con actividades mayormente enfocadas en el aprovechamiento de datos y tecnologías y el talento humano en la Transformación Digital.

**6.3.1.2 Tecnologías de la Industria 4.0.** Para este componente de la encuesta aplicada a empresas de Santander, fue posible identificar por medio del AFE 4 factores. En el Apéndice S - hoja TEC se pueden consultar los estadísticos descriptivos empleados para las variables que conforman cada uno de los 4 factores como complemento a los datos presentes en la Tabla 8.

**Figura 29**

*Variables que conforman tecnologías 4.0 en empresas*



A partir de la Figura 29 es posible identificar 4 temáticas diferentes que abarcan las tecnologías de la Industria 4.0. El primer factor está representado por tecnologías que tienen aplicaciones sobre la manufactura aditiva pues, de acuerdo con la literatura, los materiales avanzados se emplean como medio de apoyo para maximizar los beneficios de esta tecnología (Pérez Bustamante, 2022). De hecho, los materiales avanzados pueden considerarse como un segmento de la manufactura aditiva siempre y cuando hayan mostrado potencial para su uso (Legarreta Garcia, 2020). Asimismo, estos materiales se han apoyado en la nanotecnología y biotecnología para sus desarrollos. En el campo de la salud, se evidencian aplicaciones en la biomedicina e ingeniería de tejidos ya que por medio de procesos biotecnológicos de fermentación bacteriana e ingeniería genética es posible desarrollar, producir y validar nuevos materiales biodegradables, biocompatibles e imprimibles (AIN, 2021). Otro campo de aplicación se evidencia

en el tratamiento de diferentes enfermedades (AIN, 2019a; AIN, 2019b). Por su parte, la aplicación de blockchain en la manufactura aditiva permite potenciar la integración de las cadenas de suministro así como, la aplicación de criptografía permite la protección de información sensible sobre los diseños que van a ser impresos (Castellanos Guerrero, 2020).

Con relación al segundo factor se identifica que el propósito de las tecnologías que lo conforman es representar de una mejor forma el mundo real en un mundo virtual, buscando maximizar las experiencias para quien las utilice. Algunas de sus aplicaciones en empresas se evidencian en las videoconferencias pues, por medio de la colaboración cognitiva se puede lograr que las reuniones sean más eficientes, productivas e intuitivas. En efecto, la realidad virtual y aumentada tendrán un impacto en las experiencias de video (Vilamitjana, 2019). Por otro lado, la relación del internet de las cosas con estas tecnologías radica en que el internet de las cosas se encarga de recopilar los datos del mundo real para que puedan ser trasladados y simulados en un mundo virtual. Esta acción permite que inteligencia artificial, por ejemplo asistentes virtuales o chatbots en reuniones virtuales, puedan tomar decisiones, compartir y enviar datos o información a los participantes de manera que se optimice el tiempo y se reduzcan los esfuerzos por parte de las personas (Banafa, 2017; Camacho Castillo et al., 2017).

Del tercer factor se determina que las tecnologías que lo conforman representan lo que son los *cobots*, o también conocidos como robots colaborativos. Estos robots surgen como apoyo al ser humano para realizar tareas peligrosas y repetitivas. A diferencia de los robots tradicionales puede ejecutar diferentes tareas gracias a un proceso de aprendizaje que realizan basándose en la tecnología de machine learning o aprendizaje automático (Oliveira, 2017). De esta manera es posible reducir la intervención humana en las tareas que se deben desarrollar.

El cuarto factor representa principalmente tecnologías que guardan una relación directa con los datos pues son capaces de manejar, almacenar y explotar grandes volúmenes de datos. El big data hace referencia a los datos que exceden la capacidad típica de almacenamiento, procesamiento y computación de las bases de datos convencionales y técnicas de análisis de datos (Riahi & Riahi, 2018). De hecho, muchos de los datos de los que se dispone actualmente se han creado en la web dentro de un modelo de computación en la nube. La necesidad de las empresas por sacar valor de los datos ha hecho que los servicios *cloud* sean sumamente necesarios (IIC, 2019). Asimismo, la analítica de datos se ha empleado como herramienta para observar y estudiar datos muy grandes y diversos que incluyen tanto datos estructurados, semiestructurados y no estructurados, así como de diferentes orígenes (Riahi & Riahi, 2018).

Por su parte, el Business Intelligence o la inteligencia de negocio se relaciona con la ciencia de datos o analítica y el big data ya que su objetivo principal es el análisis de datos en el entorno empresarial para la toma de decisiones y optimización de productos o servicios (UNIR, 2019). Sin embargo, el Business Intelligence se diferencia de la ciencia de datos o analítica en que esta última se emplea principalmente para transformar datos en bruto en información o ideas de valor a partir de análisis predictivos, mientras que el Business Intelligence se emplea para tareas relacionadas con la gestión y organización de datos históricos de la organización, además de la producción de informes accesibles que permitan optimizar procesos internos en cuanto a las capacidades operativas y finanzas (Bantu Group, 2021).

### Tabla 8

#### *Estadísticos descriptivos tecnologías 4.0 en empresas*

Tipo de empresa	Estadísticos	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Micro-empresas	Media ( $\bar{X}$ )	1,87	1,08	1,33	2,92	3,00
	Desv. (S)	1,36	0,29	0,52	1,16	0,00

Continuación Tabla 8

*Estadísticos descriptivos tecnologías 4.0 en empresas*

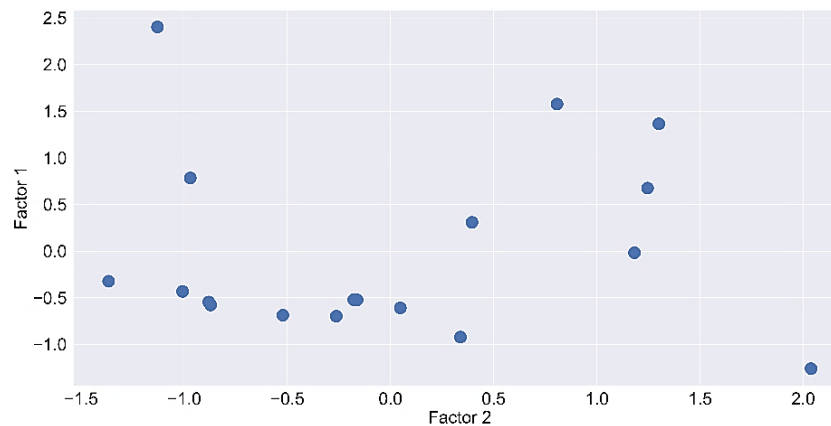
<b>Tipo de empresa</b>	<b>Estadísticos</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>	<b>Factor 4</b>	<b>Factor 5</b>
Pequeñas	Media ( $\bar{X}$ )	1,70	2,08	2,17	2,63	2,67
empresas	Desv. (S)	1,02	1,02	1,11	0,92	1,03
Medianas	Media ( $\bar{X}$ )	2,10	2,00	3,00	3,13	2,00
empresas	Desv. (S)	1,10	1,07	1,15	0,99	0,00
Grandes	Media ( $\bar{X}$ )	1,89	1,86	2,36	2,71	2,86
empresas	Desv. (S)	1,18	1,18	1,39	0,94	1,07

De la Tabla 8 se colige que, por lo general, todas las empresas presentan un rezago con el factor 1 y 2, es decir, la apropiación de manufactura aditiva, nanotecnología, biotecnología, blockchain, materiales avanzados, internet de las cosas, realidad virtual, realidad aumentada e inteligencia artificial para las actividades de la empresa es relativamente escasa. En el caso del factor 3 puede decirse que las medianas empresas presentan mayor puntaje que las demás, es decir, se evidencia mayor apropiación en ellas de tecnologías como el machine learning y, la robótica y automatización. Por su parte, la computación en la nube, la analítica de datos, el big data y el Business Intelligence también presentan la mayor apropiación en las medianas empresas.

En general puede decirse que la desviación de los datos presentada para las empresas en cada factor es más alta que en el caso de la pregunta anterior ya que en la mayoría de los casos su valor supera al 1. Esto significa que las respuestas dadas por los encuestados fueron distintas sin evidenciar ninguna tendencia.

**Figura 30**

*Puntuaciones del AFE para tecnologías 4.0 en empresas*

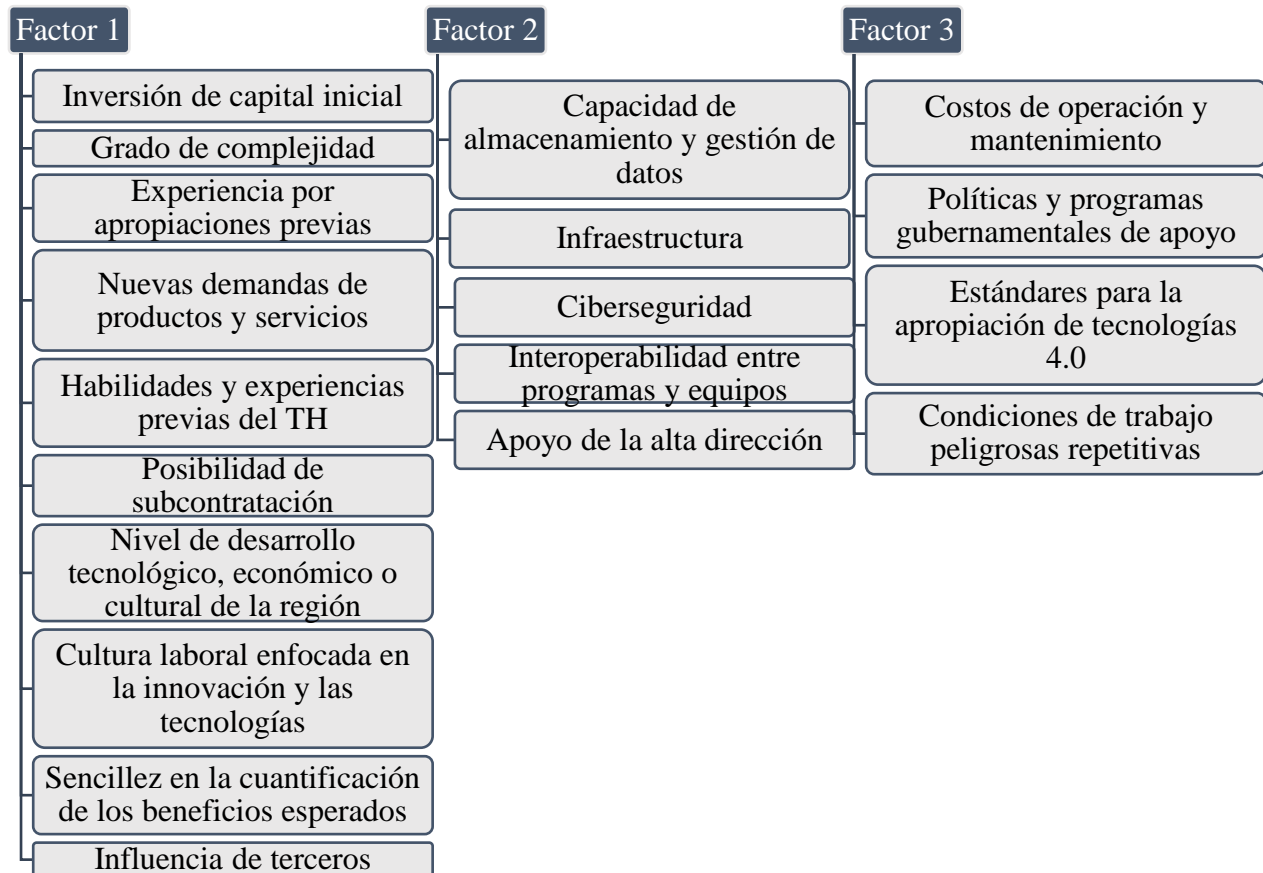


A partir de la Figura 30 es posible observar que las empresas se encuentran dispersas en el plano por lo que a simple vista es difícil determinar el factor (eje) hacia el que se agrupan más las empresas. Sin embargo, en Apéndice U - hoja TEC se muestra que las empresas tienden hacia los factores 1 y 2 equitativamente, es decir, 9 empresas se acercan más al factor 1 (eje y) y las 9 restantes más hacia el factor 2 (eje x). Estos resultados no difieren de lo encontrado en la Tabla 8 pues en este análisis también se encontraron desviaciones altas en ambos factores, detectando también que los puntajes de estos no varían significativamente entre ellos.

**6.3.1.3 Factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0.** A partir del AFE fue posible identificar que 3 factores explican las respuestas de los ítems para esta pregunta de la encuesta aplicada a empresas de Santander. En el Apéndice S - hoja FACT se pueden consultar los estadísticos descriptivos empleados para las variables que conforman cada uno de los 3 factores como complemento a los datos presentes en la Tabla 9.

**Figura 31**

*Variables que conforman factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en empresas*



De acuerdo con la Figura 31 tres grandes factores o temáticas sintetizan los factores que influyen en la intención de apropiar tecnologías 4.0 en empresas de Santander. En este caso, el primer factor identificado hace referencia tanto a variables internas de las empresas como a variables externas que afectan el entorno en el que estas se desenvuelven.

En América Latina, se evidencian brechas en la aplicación y apropiación de la innovación en las trayectorias tecnológicas y económicas de los diferentes países, debido a las condiciones internas de las organizaciones y al contexto en el que se desenvuelven (Morales et al., 2012). Según Alvarez (2017), es fundamental que dentro de una adopción tecnológica se distinga el grado de cambio que se introduce con la implementación, en otras palabras, es necesario poder cuantificar

los beneficios esperados por la apropiación de la tecnología por la empresa. Asimismo, se considera que aquellas habilidades que permitan a una empresa mejorar sus procesos, productos y servicios son capacidades internas que favorecen la innovación. Sin embargo, estas habilidades “deben complementarse con la estructura empresarial que facilite su desarrollo y aplicación, pues la combinación tanto de las capacidades estructurales de la organización como de la gestión de esos activos intangibles le permite a la empresa llegar a ser innovadora” (Morales et al., 2012, p.153).

Las habilidades y experiencias previas del talento humano de una empresa hacen parte de estas capacidades internas para la gestión de activos intangibles, ya que antes de adquirir una nueva tecnología se requiere que los trabajadores estén capacitados y cuenten con los conocimientos necesarios. Claramente, la apropiación de una nueva tecnología, que antes era desconocida, implica un proceso de generación de nuevo conocimiento por lo que el aprendizaje y la capacitación son su principal fuente de apoyo. En algunos casos de implementación de nuevas tecnologías, la complejidad en el manejo tecnológico se considera un factor que impacta negativamente en los resultados esperados por la apropiación. Esto puede deberse a una mala práctica de apropiación, desconocimiento en el manejo de la tecnología, entre otros (Alvarez, 2017). En cuanto a las variables externas, se entienden que son estas las que facilitan el desarrollo de las capacidades internas de las organizaciones (Morales et al., 2012). Variables sociales, económicas y políticas determinan en cierta medida el grado, el rol y la rapidez de una apropiación tecnológica (Gopalakrishnan & Bierly, 2001). Dentro de estas variables están inmersos diferentes actores que pueden influir en las decisiones, el proceso de implementación (subcontratación o apropiación por medios propios) y el manejo o uso de las nuevas tecnologías de cualquier organización en una sociedad (Morales et al., 2012).

El segundo factor identificado representa temas relacionados con las capacidades y necesidades estructurales para la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas. Entre estas se encuentra lo que es la infraestructura tecnológica para recolección, almacenamiento y explotación de datos. Por lo general, el manejo de grandes cantidades de datos la proporcionan tecnologías de la Industria 4.0, entre esas; el internet de las cosas y la computación en la nube. Sin embargo, esta cantidad de datos requerirá, a su vez, de otras tecnologías para su aprovechamiento (Ynzunza Cortés et al., 2017). A partir de esto, puede establecerse una relación directa entre las capacidades que dispone una empresa para manejo de datos y la apropiación de tecnologías 4.0. En este sentido, la apropiación de tecnologías 4.0 como computación en la nube puede estar impulsada por necesidades de infraestructura tecnológica para apropiación de otras tecnologías avanzadas, como por ejemplo la robótica y el machine learning que requieren de datos e información para realizar un proceso de aprendizaje.

Sin embargo, es de resaltar que la integración de estas tecnologías con los programas y herramientas existentes dentro de la organización es algo necesario. La existencia de redes descentralizadas poco confiables puede generar procesos poco eficientes y contribuir con problemas o errores de la información y datos (Castellanos Guerrero, 2020).

Por ejemplo, la adopción de big data se ve influenciada por la infraestructura existente dispuesta para la recopilación de datos y para la cual la integración de datos de diferente procedencia hace que esta tarea tenga cierto grado de complejidad (Cagliano et al., 2021). En el caso del internet de las cosas para poder establecer su infraestructura se requiere mucho hardware con requisitos específicos y una red complicada y entrelazada (Aamer et al., 2021). Sin una adecuada infraestructura de datos y tecnologías es difícil lograr una adecuada interoperabilidad lo que hace que el proceso de apropiación y uso de una tecnología sea más complicado. El flujo

masivo y constante de los datos hace que la protección de los datos sea un asunto de interés para las organizaciones, por lo que dentro de un desarrollo de infraestructura debe concebirse el refuerzo a ciberseguridad para evitar ciberataques o robo de información (C. Lee & Lim, 2021).

Por su parte, el apoyo de la alta dirección juega un papel crucial en la apropiación de tecnologías 4.0 pues las decisiones que deben tomarse para garantizar una exitosa implementación abarcan asuntos críticos que deben ser revisados y planeados con precaución. Además, requieren de altos costos de inversión tanto monetarios como humanos. De acuerdo con Alvarez, (2017), la dificultad en la comunicación entre directivos y trabajadores, puede afectar el desarrollo de acciones, como por ejemplo la toma de decisiones en un momento crítico o importante dentro de la empresa.

Por su parte, el tercer factor representa tanto aspectos económicos y condiciones de trabajo internas como factores políticos externos. Según Kim (2001), algunos de los aspectos económicos que influyen sobre los directivos a la hora de la toma de decisión para la apropiación de nuevas tecnologías son: el costo y el riesgo de la adopción, las estrategias para la apropiación y la relación de estos factores para la utilización de la tecnología. Asimismo, las condiciones o naturaleza de trabajo son también consideradas un factor interno de la organización que influye en la apropiación de nuevas tecnologías. La robótica y la inteligencia artificial son tecnologías que sustituyen las actividades repetitivas humanas por medio de la automatización de procesos (MinTic, 2019).

En contraparte, las políticas y programas de apoyo gubernamental son considerados factores del entorno que pueden influir sobre las condiciones internas de la organización. De hecho, Pineda Márquez et al. (2011) afirman en sus estudios que la innovación puede darse tanto al interior de la organización para impactar el entorno, como desde el entorno en que esta se desenvuelve hacia su interior. Partiendo de esto, el foco de las políticas no debe ser solo a nivel

externo sino también deben formularse y llevarse a cabo políticas al interior de la organización (Morales et al., 2012). En este sentido es un imperativo contar con sistemas de innovación que permitan la integración de esfuerzos y desarrollo de estrategias para el fortalecimiento de los sectores claves en la apropiación de nuevas tecnologías. De aquí la diferencia marcada en el desarrollo tecnológico y económico de un país desarrollado y uno en desarrollo, ya que las divergencias macroeconómicas que existen entre ambos repercuten en las capacidades de innovar de las empresas.

Con el fin de conocer la percepción de los encuestados de esta investigación sobre esta variable de apoyo gubernamental, se realiza un análisis por medio de cifras de la encuesta. De acuerdo con la encuesta, el 28% de los encuestados han accedido a las tecnologías de la Industria 4.0 gracias al apoyo de convocatorias de fuentes públicas y, el 22% de los encuestados manifiestan haber evidenciado beneficios tributarios por la apropiación de tecnologías 4.0. Asimismo, un encuestado manifestó que el proceso de apropiación de tecnologías de la Industria 4.0 en su empresa se ha “apoyado con recursos del gobierno a través de convocatorias con Innpulsa y con participación de la empresa en aproximadamente un 40%”. Lo anterior, deja ver que si bien los apoyos brindados por el gobierno para acceso a tecnologías de la Industria 4.0 han impactado algunas organizaciones de la región, aún el 72% de las empresas encuestadas manifiestan haber accedido a las tecnologías por otros medios. A su vez, el 78% no ha evidenciado beneficios tributarios.

A partir de esto pueden surgir varias conjeturas. Entre esas que la participación en las convocatorias públicas es de difícil acceso para algunas organizaciones porque no están lo suficientemente preparadas para hacer frente a los retos que allí se plantean o, muchas de estas empresas pueden no estar interesadas en dichas convocatorias porque la empresa misma cuenta

con los recursos o tal vez tienen otro tipo de apoyo privado o académico. Según resultados, un 50% manifiesta acceder a las tecnologías únicamente por medio de recursos propios, siendo el 22% restante quienes acceden a las tecnologías por medio de un presupuesto compartido con grupos de investigación, otras empresas, convocatorias de fuentes privadas y/o subcontratación. Además, pareciera que el incentivo de beneficios tributarios dado por el gobierno para ciencia, tecnología e innovación (CTeI) fuera desconocido para los empresarios (El Tiempo, 2018).

**Tabla 9**

*Estadísticos descriptivos factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en empresas*

Tipo de empresa	Estadísticos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Micro-empresas	Media ( $\bar{X}$ )	2,43	3,40	1,42
	Desv. (S)	1,41	1,12	1,16
Pequeñas empresas	Media ( $\bar{X}$ )	3,20	3,20	2,92
	Desv. (S)	0,92	1,37	0,97
Medianas empresas	Media ( $\bar{X}$ )	1,75	2,70	2,00
	Desv. (S)	1,83	1,16	1,77
Grandes empresas	Media ( $\bar{X}$ )	2,97	3,57	2,68
	Desv. (S)	0,76	0,65	1,16

En la Tabla 9 se evidencia que las grandes empresas son las que en promedio tienen un puntaje más alto para el factor 2, mientras que las pequeñas empresas presentan, en promedio, el mayor puntaje para el factor 1 y 3. En estos casos, la desviación presentada tanto para micro como para pequeñas, medianas y grandes en los factores no es tan baja en la mayoría de los casos.

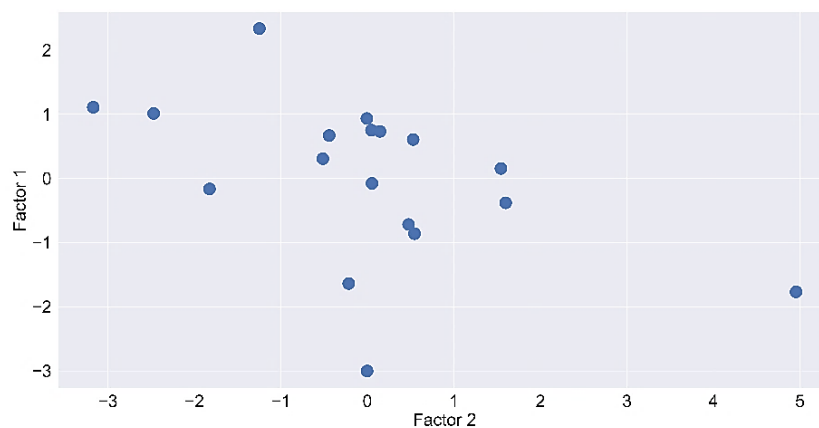
A partir de lo anterior, es posible concluir que las pequeñas empresas consideran que la inversión de capital, la cultura laboral, el grado de complejidad en el uso de las tecnologías 4.0, las habilidades y experiencias del capital humano, las nuevas necesidades del mercado, el nivel de desarrollo económico, tecnológico, económico o cultural de la región, los costos de operación, las

políticas y programas gubernamentales de apoyo, la definición de estándares para la apropiación, entre otras; son variables más influyentes en la intención de apropiar una tecnología 4.0.

A pesar de que la variable relacionada con la posibilidad de subcontratar tecnologías pertenece al primer factor, el mayor puntaje asignado para esta fue dado por las grandes empresas. Estas consideran que, las condiciones estructurales y capacidades de las empresas en relación con el manejo de los datos y las tecnologías es un factor influyente para la apropiación de tecnologías 4.0.

### Figura 32

*Puntuaciones del AFE para factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas*



Finalmente, a partir de la Figura 32 se identifica que son más las empresas que tienden a acercarse al primer factor, es decir, al eje y (11 empresas). Esto, pues la distancia desde los puntos hasta el eje y es menor que la distancia hasta el eje x.

Asimismo, es visible que los datos tienden a estar más agrupados hacia el centro (origen) por lo que se evidencia en algunos casos puntos muy cercanos entre ellos. Se identifica un punto que está prácticamente en el centro del plano siendo esta una microempresa (ver Apéndice U: FACT). La tendencia indica que esta microempresa considera igual de influyente al factor 1 y 2

que hacen referencia a variables como la inversión de capital, la capacidad de almacenamiento de datos, ciberseguridad, habilidades y experiencias del capital humano, entre otras.

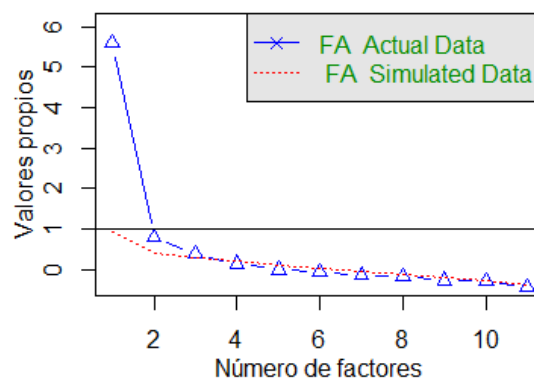
Las demás variables que se encuentran cercanas son pequeñas y grandes empresas por lo que puede reafirmarse lo identificado en la Tabla 9 donde se identificó también una mayor representación de estos dos factores por parte de las pequeñas y grandes empresas. Por último, el punto lejano en plano hace referencia a una pequeña empresa que a diferencia de las demás difiere en sus respuestas, es decir, su distribución se aleja en valor absoluto a la media aritmética de los demás datos.

### 6.3.2 Grupos de investigación

Al igual que en empresas, la selección del número de factores fue el primer resultado obtenido en el AFE para grupos de investigación. A partir de las Figuras 33, 34 y 35 y teniendo en cuenta otros criterios se concluye que el número de factores para las preguntas relacionadas con Transformación Digital, tecnologías 4.0 y factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 es de 2, 4 y 3 respectivamente.

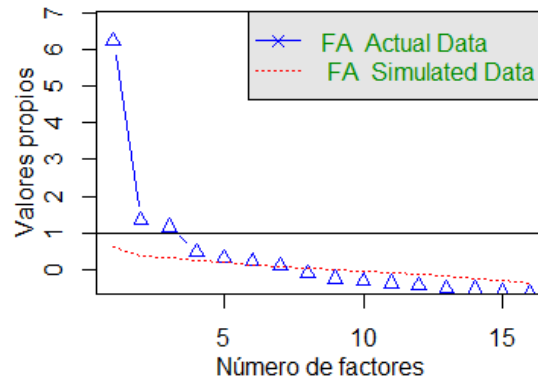
#### Figura 33

*Análisis Paralelo de la Transformación Digital en grupos de investigación*

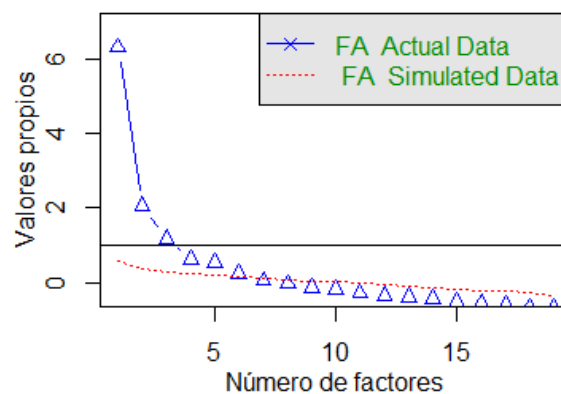


**Figura 34**

*Análisis Paralelo de Tecnologías de la Industria 4.0 en grupos de investigación*

**Figura 35**

*Análisis Paralelo factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 grupos de investigación*

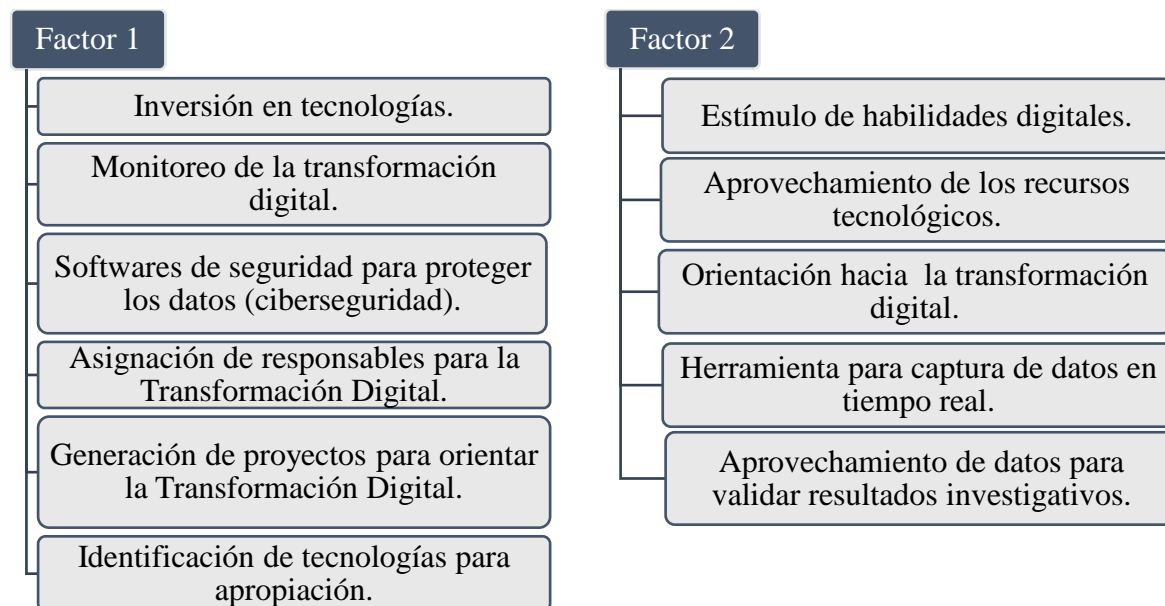


Los archivos con las respectivas agrupaciones de variables, cargas factoriales, comunales y especificidades para cada pregunta de la encuesta analizada por el modelo factorial se encuentran en el Apéndice O.

**6.3.2.1 Transformación Digital.** Como se discutió arriba, se identificaron 2 factores, que representan principalmente la situación digital de los grupos de investigación en cuanto a su Transformación Digital como se muestra en la Figura 36. En el Apéndice T - hoja TD pueden consultarse los estadísticos descriptivos para las variables asociadas a cada factor como complemento a los datos presentes en la Tabla 10.

**Figura 36**

*Variables que conforman los factores de Transformación Digital en grupos de investigación*



El primer factor está compuesto por variables que tienen una relación directa entre ellas y que representan decisiones estratégicas dentro de cada grupo de investigación que se deben tomar en aras de lograr una adecuada Transformación Digital. La Transformación Digital debe impactar toda la organización de modo que se genere un cambio en la cultura organizacional y su forma de trabajar (GDX Group, 2020). De acuerdo con Benitez Palma (2020), “toda Transformación Digital, para tener éxito, debe poner el foco en tres cuestiones: la tecnología, los procesos y las personas” (p.20). Las decisiones tecnológicas, como por ejemplo la apropiación de nuevas tecnologías o su inversión, resultan ser de las más críticas dentro de las decisiones organizacionales (Alvarez, 2017). En este caso también, la definición de proyectos que permitan orientar la Transformación Digital es un asunto que debe ser planeado con precaución pues este proceso implica un cambio estructural donde se le otorga un papel esencial a las tecnologías. Sin embargo, según datos de la encuesta, el 53.4% de los encuestados consideran que esta acción no está muy presente en la realidad de los grupos de investigación.

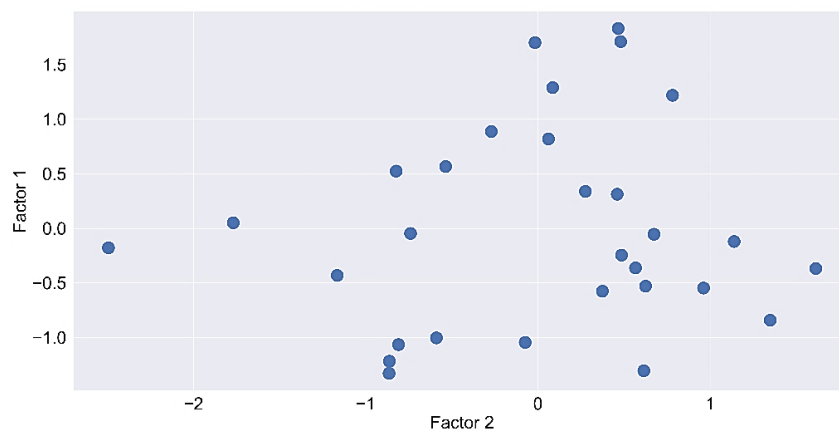
Por otra parte, el monitoreo de la Transformación Digital es también un asunto de gran importancia ya que es necesario analizar y medir sus avances para que puedan seguirse tomando decisiones en función de los resultados alcanzados (GDX Group, 2020). No obstante, el 53.4% considera que esta actividad no se lleva a cabo dentro de su grupo de investigación. Asimismo, en cuanto a la asignación de responsables para el proceso de Transformación Digital, Fernández et al. (2018) mencionan en un estudio desarrollado en España que su importancia se atribuye a la creación de sinergias positivas entre los responsables de la TI de las instituciones educativas y los investigadores. De acuerdo con resultados de la encuesta, solo el 30% considera que está asignación de responsables se ha llevado a cabo en sus grupos de investigación. En cuanto a la variable relacionada con la ciberseguridad se determina que la importancia de definir una estrategia de ciberseguridad radica en proteger los datos del grupo y los de sus colaboradores. En este caso, el 60% de los encuestados manifiesta contar con programas de seguridad para proteger sus datos.

Ahora bien, en cuanto al segundo factor encontrado es posible evidenciar una relación con el componente humano y la importancia de los datos en la Transformación Digital de los grupos de investigación en Santander. En este factor se abordan temáticas relacionadas con el estímulo de las habilidades de los miembros de los grupos de investigación que, según la literatura, resulta ser una asunto crítico y primordial en el uso de nuevas herramientas tecnológicas ya que el talento humano es “el principal y más importante activo del marco de la Industria 4.0” (Velásquez Ruíz, 2021, p,28). De acuerdo con datos de la encuesta, el 83.4% considera que estimular las habilidades digitales de los grupos de investigación y el aprovechamiento de los recursos tecnológicos por parte de sus miembros son una realidad en sus actividades. De esta manera, el aprovechamiento de recursos tecnológicos se ve influenciado positivamente pues con un adecuado manejo se pueden potencializar y percibir beneficios por su implementación.

Estas dos variables impactan en los resultados de las investigaciones, es decir en la producción científica de los grupos de investigación pues gracias al aprovechamiento de recursos tecnológicos y de datos se pueden generar resultados más precisos y en un menor tiempo. Para esto, es fundamental contar con herramientas que permitan la captura y almacenamiento de datos para su posterior análisis. En síntesis, es posible determinar que la mayoría percibe una adecuada orientación hacia la Transformación Digital por medio de su formación en habilidades digitales y el aprovechamiento de tecnologías para mejorar los resultados de las investigaciones.

**Figura 37**

*Puntuaciones del AFE para Transformación Digital en grupos de investigación*



**Tabla 10**

*Estadísticos descriptivos Transformación Digital en grupos de investigación*

Estadísticos	Factor 1	Factor 2
Media ( $\bar{X}$ )	2,54	3,13
Desv. (S)	1,02	0,89

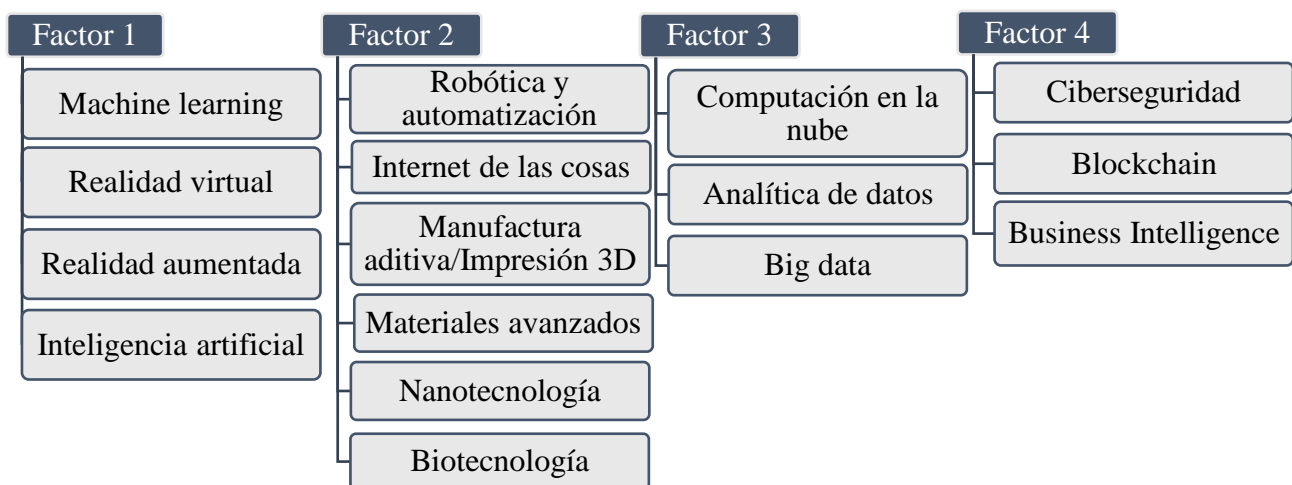
Finalmente, en la Figura 37 es posible identificar que, al igual que en la Tabla 10, los grupos de investigación presentan en promedio un mayor acercamiento al componente de la Transformación Digital relacionado con el recurso humano y los datos, es decir, con el factor 2

(eje x). Sin embargo, en este caso, la desviación presentada en la Tabla 10 indica que hubo mayor variación en las respuestas brindadas por los grupos de investigación que en las dadas por las empresas.

**6.3.2.2 Tecnologías de la Industria 4.0.** Con el AFE se identificó que 4 factores explican el uso de tecnologías 4.0 en las actividades de los grupos de investigación como se evidencia en la Figura 38. En el Apéndice T - hoja TEC están disponibles los estadísticos descriptivos para las variables que conforman cada factor como complemento a los datos presentes en la Tabla 11.

**Figura 38**

*Variables que conforman factores de tecnologías 4.0 en grupos de investigación*



En el primer factor identificado se puede enmarcar como tecnología principal a la inteligencia artificial, pues el machine learning hace referencia a un tipo de programación de esta tecnología. La inteligencia artificial mejora las capacidades de la realidad virtual y aumentada, haciéndolas mucho más inmersas e intuitivas para los usuarios finales (Napolitano, 2020). Dada la estrecha relación entre estas cuatro tecnologías, no es extraño que las respuestas para su nivel de apropiación en la encuesta sean similares, encontrándose la mayoría en un nivel nulo. En Colombia, el sesgo algorítmico, la sobreestimación de capacidades de la tecnología, los errores

programáticos y el riesgo de ataques cibernéticos son barreras por superar para liberar el potencial de las tecnologías pertenecientes a este primer factor (MinTic, 2019).

El segundo factor abarca seis de las tecnologías digitales con mayor potencial para la fabricación inteligente, sin embargo, la nanotecnología y biotecnología obtuvieron una carga factorial poco significativa (menor a 0.4). Por tal motivo, estas tecnologías no se consideran en la interpretación de los resultados pues explican menos del 16% de la varianza común (Stevens, 2002, como se citó en Mavrou, 2015). De acuerdo con las respuestas de los encuestados, en los grupos de investigación de Santander se encuentran más presentes la robótica y el internet de las cosas. En función de la naturaleza de los productos y procesos, el uso de estas tecnologías será diferente. Por ejemplo, aquellos que manejan procesos convencionales tal vez traten de adoptar una estrategia dirigida a transformar los procesos por medio de la robótica, la manufactura aditiva o el internet de las cosas; mientras que, otros grupos de investigación pueden optar por incluir los materiales avanzados como componentes tecnológicos en sus resultados. En efecto, no basta con digitalizar los procesos para garantizar la competitividad a largo plazo, sino que conviene producir bienes o servicios de mayor contenido tecnológico (Grosman et al., 2021).

En el tercer factor se encuentran la computación en la nube y el big data, que son considerados como servicios de datos que no son componentes independientes (Velásquez et al., 2019). Gracias al desarrollo de la computación en la nube, hoy en día el big data es accesible tanto para organizaciones grandes como para pequeñas. Para evitar la demora en las consultas sobre grandes volúmenes de datos se hace necesario contar con software que permita hacer analítica de datos. Una vez se tiene una buena base de datos, debe utilizarse la analítica de datos para generar conocimiento útil por medio de algoritmos de minería de datos como agrupación, clasificación y reglas de asociación (Sanabria Sepúlveda et al., 2019).

El cuarto factor contiene tres tecnologías que, si bien no están altamente apropiadas por los grupos de investigación de Santander en este momento, tienen oportunidades de estudio y desarrollo. Dentro de los grupos de investigación, la ciberseguridad puede ser ampliamente estudiada al incluir temas como la privacidad, la ciberdelincuencia, la ética y el derecho, lo que requiere una sinergia de conocimientos entre la informática, las ciencias sociales y las humanidades (University of Kent, 2022).

Algunas entidades públicas en Colombia se encuentran desarrollando iniciativas de blockchain que vale la pena resaltar, por ejemplo, en agosto de 2019 la Procuraduría General de la Nación, con recursos del Banco Interamericano de Desarrollo, inició importantes alianzas público - privadas con la Universidad Nacional de Colombia para el desarrollo tecnológico, específicamente con el laboratorio digital Vivelab Bogotá, operado por el grupo de investigación InTIColombia. El fin de esta alianza fue aplicar blockchain en la contratación estatal para reducir la corrupción a través de transparencia en el proceso de licitación pública y, contratos inteligentes para poder contar con registros de información inmodificables durante el proceso (Espinosa, 2020). Finalmente, en el campo del Business Intelligence, la investigación académica ha estudiado el potencial de sus análisis para la evaluación de créditos y la gestión de la deserción de clientes para su adopción por parte de los directivos del sector bancario (VOXCO, s.f.)

**Tabla 11**

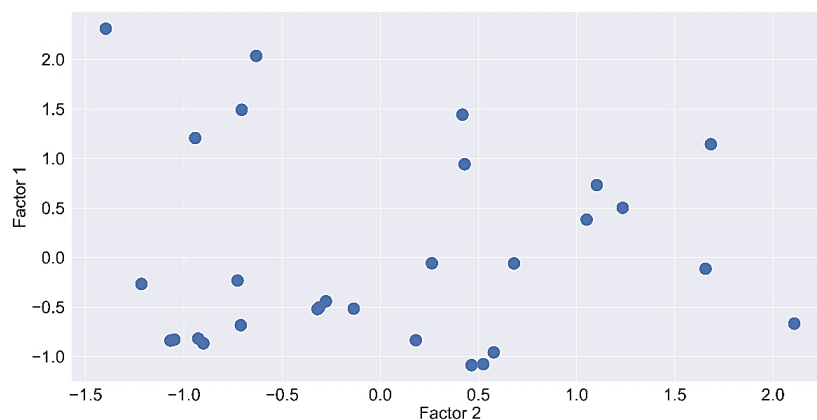
*Estadísticos descriptivos tecnologías 4.0 en grupos de investigación*

<b>Estadísticos</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 3</b>	<b>Factor 4</b>
Media ( $\bar{X}$ )	1,93	1,99	2,86	1,42
Desv. (S)	1,12	1,42	0,97	0,73

En la Tabla 11 se distingue, a partir de la media, que los grupos de investigación de universidades de Santander tiene un mayor acercamiento con el factor 3, que engloba la computación en la nube, la analítica de datos y el big data; y uno menor con el factor 4, que se refiere a la ciberseguridad, el blockchain y el Business Intelligence. Es de resaltar que, para estos dos factores también se encuentran los valores más bajos de desviación de los datos, lo que quiere decir que las respuestas de los encuestados respecto a la apropiación de estas tecnologías 4.0 fueron similares.

### Figura 39

*Puntuaciones del AFE para tecnologías 4.0 en grupos de investigación*



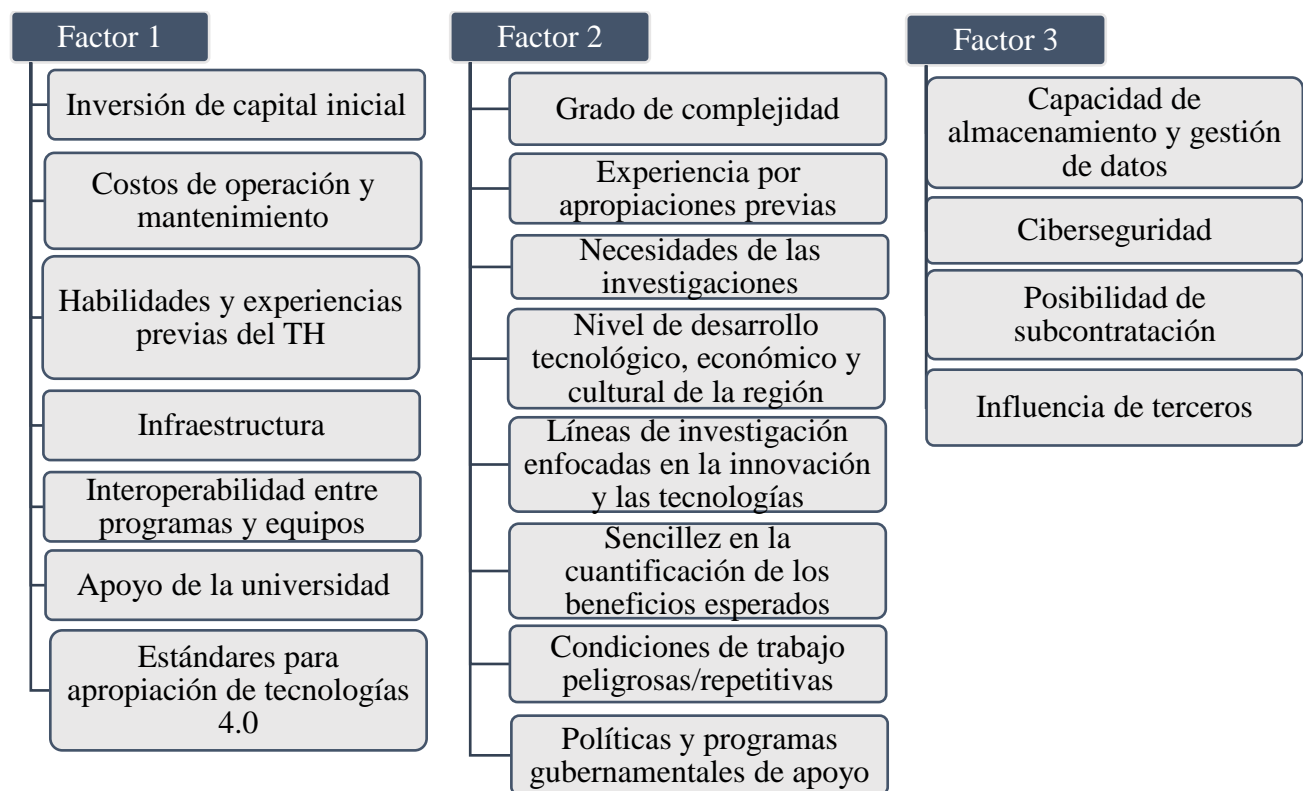
Aunque para el caso de las tecnologías 4.0 se encontraron cuatro factores, en la Figura 39 se grafican únicamente los dos primeros factores; el factor 2 en el eje x y el factor 1 en el eje y. Su propósito es representar visualmente el comportamiento de los grupos de investigación respecto a estos dos factores. De esto, es posible evidenciar que 16 grupos de investigación tienden a agruparse más hacia el factor 2 (eje x) que representa las nuevas tecnologías con mayor potencial para la fabricación inteligente (ver Apéndice V: TEC). Incluso, se identifica que algunos puntos coinciden con otros, es decir, hay grupos de investigación que se encuentran en una posición

similar en cuanto a la percepción de estos factores. Si bien, es visible que los puntos se encuentran distribuidos por todo el plano, es posible identificar cierta tendencia por parte de estos.

**6.3.2.3 Factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0.** De acuerdo con el AFE, el componente de factores influyentes en la apropiación de tecnologías 4.0 se puede desagregar en 3 factores como se aprecia en la Figura 40.

**Figura 40**

*Variables que conforman cada factor para grupos de investigación*



El primer factor está representado por variables inherentes a cada grupo de investigación ya que, se entiende por grupo de investigación “al conjunto de personas que interactúan para investigar y generar productos de conocimiento en uno o varios temas, de acuerdo con un plan de trabajo de corto, mediano o largo plazo” (Minciencias, s.f.).

Dentro de estos planes de trabajo se deben considerar aspectos relacionados con el manejo presupuestal, la implementación de metodologías, formulación de proyectos, definición de roles y actividades, etcétera. Las habilidades y experiencias previas de los miembros, la infraestructura digital, los costos de operación y mantenimiento, etcétera; son asuntos que están sujetos a las capacidades, características y decisiones de los grupos de investigación.

De acuerdo con Altopiedi et al. (2015), los grupos de investigación tienen ciertas características internas que influyen en su productividad. Dentro de estas se encuentra su composición disciplinaria, los recursos humanos y materiales, la dinámica social, el modo de funcionamiento, entre otras. Por ejemplo, en el campo de la medicina, la decisión de apropiar nuevas tecnologías de bioprocesos permite reducir tiempos y costos tanto en I+D como en la producción, al tiempo que permite una personalización del campo de estudio (CEPAL, 2019).

Al segundo factor lo componen variables que pueden llegar a verse como incentivos para la apropiación de tecnologías, como la sencillez en la cuantificación de los beneficios esperados, las condiciones de trabajo peligrosas/repetitivas, las políticas y programas gubernamentales que apoyen la apropiación de nuevas tecnologías.

En Latinoamérica son pocos los países que tienen una cartera de incentivos para la apropiación de tecnologías, y algunos se limitan a beneficios tributarios no articulados con objetivos específicos (Herrera Bedoya, 2016). Los grupos de investigación son organizaciones sensibles a los cambios en la orientación de políticas y en las prioridades de investigación, ya que esto los impulsa a desarrollar nuevas competencias para reaccionar adecuadamente a dichos cambios (Minciencias, 2020).

Por otra parte, se manifiestan también en este factor variables cuyo análisis es fundamental antes de tomar la decisión de apropiar una tecnología. Entre estos, el grado de complejidad de uso

de la tecnología, la experiencia organizacional adquirida por la previa apropiación de tecnologías, el nivel de desarrollo de la región, el enfoque de las líneas de investigación del grupo y la necesidad de realizar investigaciones con resultados más precisos, en un menor tiempo y reduciendo los costos. “La ciencia, tecnología e innovación son procesos sociales cuyos resultados están determinados por valores culturales, políticos, económicos y éticos, así como por los intereses, las actividades y el compromiso de todos sus actores” (Minciencias, 2020, p.105).

El tercer y último factor lo conforman variables relacionadas con la importancia de los datos y los agentes externos que pueden influir en la intención de apropiar tecnologías 4.0. Dentro de los sistemas de almacenamiento de las organizaciones se pueden presentar amenazas relacionadas con el intento de robo de información sensible pues los proveedores de servicios de almacenamiento son terceros no confiables (Sanabria Sepúlveda et al., 2019).

Además, en algunas ocasiones, las organizaciones recurren a la compra de datos para integrar información de múltiples fuentes y lograr oportunidades transformadoras. Sin embargo, los acuerdos que se establecen para esto deben ser cuidadosamente estructurados y consensuados de modo que no se ocasionen problemas de privacidad y seguridad con la información (Manyika et al., 2011). En este sentido, los datos, además de ser un recurso valioso en esta nueva era, son un asunto crítico de gran importancia por las nuevas amenazas digitales a las que están expuestos. Las organizaciones que subcontraten servicios que impliquen el almacenamiento y gestión de sus datos deben ser precavidos a la hora de establecer dichos vínculos y acuerdos con terceros.

De hecho, en Colombia, la política de datos abiertos sugiere que los datos en bruto generados por instituciones públicas o bajo el marco de proyectos financiados con recursos públicos, sigan un estándar internacional de archivo de datos y empleen la red de repositorios existentes de forma interoperativa.

No obstante, se requiere conectividad entre redes avanzadas y capacidad de almacenamiento suficiente y procesamiento con acceso a *Eduroam* (Minciencias, 2020); por lo que las estructuras digitales de las organizaciones precisan de buenas capacidades de almacenamiento.

**Tabla 12**

*Estadísticos descriptivos factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación*

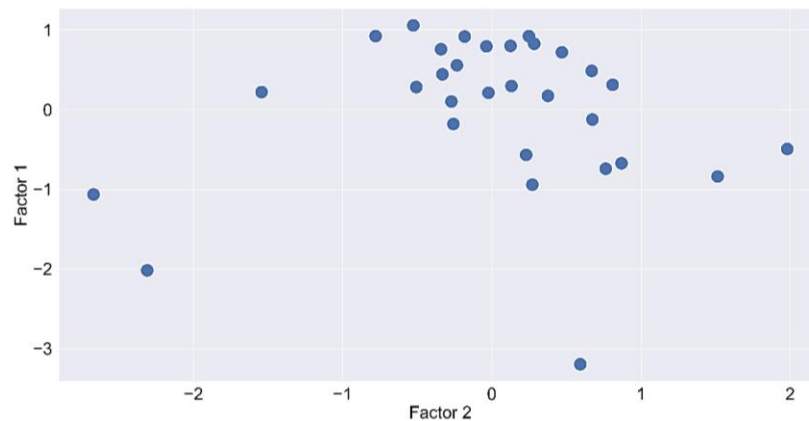
Estadísticos	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Media ( $\bar{X}$ )	2,80	2,81	2,33
Desv. (S)	1,43	1,34	1,48

A partir de la Tabla 12 es posible evidenciar que, en promedio, la influencia de cada factor no es muy alta. Sin embargo, entre estos, destaca por un puntaje ligeramente más alto el factor 2 y el factor 1. Esto quiere decir que los grupos de investigación consideran que variables como las necesidades de las investigaciones, las líneas de investigación, las experiencias previas por la apropiación de tecnologías 4.0, la infraestructura tecnológica, las habilidades de los miembros, el apoyo de la universidad, etcétera; son más influyentes que las demás.

No obstante, las condiciones de trabajo peligrosas o repetitivas y, la existencia de estándares para la apropiación de tecnologías 4.0 son variables que, entre estos dos factores, son consideradas como las menos influyentes por los grupos de investigación.

**Figura 41**

*Puntuaciones del AFE para factores influyentes en apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación*



En la Figura 41 se observa que los grupos de investigación se encuentran mayormente agrupados hacia el factor 1 (eje y). De acuerdo con datos en el Apéndice V - hoja FACT, son 16 los grupos de investigación que se acercan más a este factor, mientras que son 14 los que se acercan más al factor 2.

De esto podemos concluir que, hay una distribución casi equitativa entre los grupos de investigación sobre cuál de los dos factores es más influyente. Estos resultados coinciden con lo analizado en la Tabla 12 donde también se identifica que ambos factores son considerados influyentes con una medida similar.

**6.4 Minería de texto**

A continuación, se realiza el análisis sobre los resultados obtenidos de la minería de texto de las dos fuentes de información empleadas: noticias y documentos gubernamentales (ver Apéndice G y F). Este procesamiento de información se realizó utilizando un equipo de cómputo con las siguientes especificaciones: Procesador: Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz

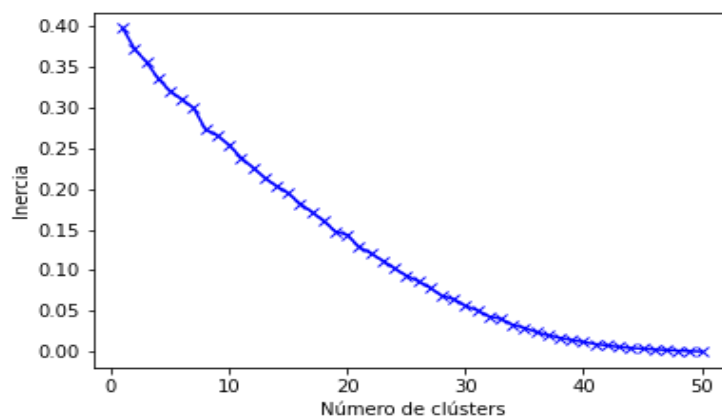
1.80 GHz, Memoria instalada (RAM): 8,00 GB (7,87 GB usable), Sistema operativo: Windows 10 Education.

### 6.4.1 Noticias

El proceso de clusterización realizado a las 50 noticias permitió obtener 8 tópicos en total representados en nubes de palabras. La selección del número de agrupaciones se realizó por medio del método del codo. Como se observa en la Figura 42 esta es principalmente una técnica visual en donde el número de clusters óptimo a seleccionar corresponde al valor en el cual se refleje un cambio brusco en la línea y a partir del cual, la varianza intra-clúster tienda a disminuir.

#### Figura 42

*Método del codo para noticias*



#### Primer tópico

Inicialmente, en la Figura 43 se identifica que el tópico principal está enfocado en la Transformación Digital Empresarial del país por lo que se pueden distinguir dos subtemas. El primero, son los Centros de Transformación Digital Empresarial (CTDE), destacándose aquellos que se encuentran ubicados en Santander como apoyo a la Cámara de Comercio de Bucaramanga.

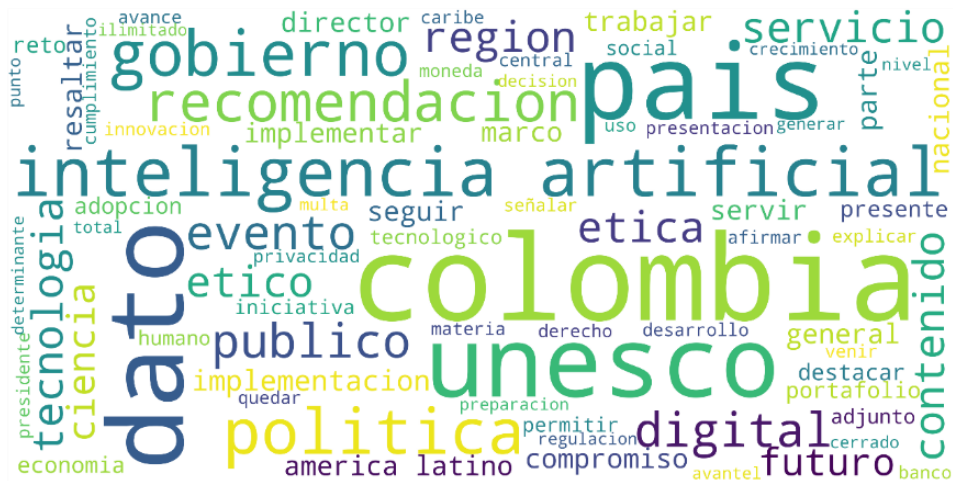
Los CTDE son una estrategia del gobierno que busca brindar apoyo y acompañamiento a empresarios con el fin de impulsar la reactivación económica y contribuir con el desarrollo de la



en poner a esta tecnología al servicio de la humanidad, sociedad y el medio ambiente, así como garantizar la protección y seguridad de datos, sostenibilidad, transparencia y privacidad.

#### Figura 44

##### *Tópico 2: inteligencia artificial en Colombia*



#### Tercer tópico

En este tercer tópico, se aborda marcadamente la transición de las empresas colombianas hacia una nueva economía digital en la que predomine el valor de los datos, el desarrollo de nuevos productos y servicios digitales, el uso de nuevas tecnologías, la generación de nuevos tipos de empleos, la reinención hacia negocios digitales y la existencia de nuevos riesgos.

La creciente importancia y diversidad de datos ha sido un motivo para que las empresas incursionen en esta nueva Industria 4.0 y se incentiven en ellas el uso de las tecnologías. Por tal motivo, se han instalado en Colombia centros de datos que facilitan servicios y datos esenciales a las empresas, por lo que tecnologías como la analítica de datos, el big data, la ciberseguridad y la inteligencia artificial han tenido mayor acogida.

Colombia se encuentra ante un proceso de transformación y cambio en el que los diferentes sectores juegan un papel clave en la transición de sus negocios hacia lo digital, especialmente las industrias del sector creativo digital y de TI. Se ha prestado especial atención en fortalecer por

medio de programas gubernamentales la creación de contenido y la Transformación Digital en los jóvenes quienes estarán afrontando y orientando el futuro del país.

Aunque se han dado indicios sobre la incursión de Colombia en las tecnologías 5G, aún quedan muchos retos por afrontar de las tecnologías 4G pues la conectividad y el espectro aún presentan fallos y áreas por mejorar. Indudablemente, estas fallas de conexión retrasan el progreso del país en materia tecnológica.

### Figura 45

*Tópico 3: Colombia hacia una economía digital*



### Cuarto tópico

El desarrollo de habilidades y la formación de capital humano especializado son el tema central de la cuarta agrupación evidenciada en la Figura 46. Se destacan los esfuerzos en capacitación realizados por el Sena, Microsoft, Innpulsa y el MinTic, en conjunto con empresas que le apuestan al reentrenamiento laboral y que participan de los programas de formación que les ayudan a definir su ruta de aprendizaje.

En la actualidad existe una marcada desconexión entre la oferta y la demanda laboral donde el sector educativo juega un papel fundamental. La importancia de la formación de talento humano

radica en poder brindarle a las personas la oportunidad de adaptar su perfil profesional para lograr una mayor empleabilidad en la era digital. Sin los conocimientos y habilidades, la adopción de nuevas tecnologías es obsoleta puesto que es el ser humano el encargado de emplearlas y analizar sus resultados.

### Figura 46

*Tópico 4: Habilidades y formación del talento humano en la Industria 4.0.*



### Quinto tópico

Las estrategias y proyectos por parte del gobierno para el fortalecimiento de los clústeres de TI en el país se identifican como temática central de acuerdo con lo evidenciado en la Figura 47. Un clúster es un grupo de empresas e instituciones interrelacionadas que comparten ciertas características y que pertenecen a determinado espacio geográfico de modo que compiten en un mismo negocio.

La finalidad de los proyectos es compartir conocimientos y capacidades a los clústeres a fin de que puedan propender por el desarrollo de sus empresas y la economía digital de la región. En el caso de los clústeres de TI se busca transferir un sistema de gestión de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) con el objetivo de que sus empresas puedan desarrollar soluciones

especializadas para cerrar las brechas digitales asociadas al sector productivo en cada región. Los resultados esperados de estas iniciativas son impulsar la reactivación económica mediante mejoras en la productividad, sofisticación y competitividad de las empresas.

### Figura 47

*Tópico 5: Fortalecimiento de clústeres en el país.*



### Sexto tópico

Tal y como se evidencia en la Figura 48 la temática central gira en torno a la participación de la mujer en la ciencia y tecnología, la cual es escasa en comparación a la de los hombres. Hoy en día, siguen siendo notorias las brechas salariales, de oportunidades y de acceso entre hombres y mujeres a áreas relacionadas con las tecnologías y la ciencia.

Por lo tanto, una de las principales áreas de acción de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales es impulsar la formación de niñas y mujeres en carreras STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) puesto que provee beneficios para su desarrollo profesional y autonomía económica. De esta manera, se impacta su entorno generando mejores condiciones de vida para su familia y región.







### **Primer tópico**

De acuerdo con la Figura 52, el primer tópico se relaciona con los avances en Industrias 4.0 en Colombia y su contribución en la transformación productiva y competitividad económica del país. Por esto, se discuten temáticas relacionadas con el desarrollo de nuevo capital humano y la necesidad de transformar el sistema educativo actual, así como en entender y mejorar la relación entre las políticas del Sistema de CTI y el sector productivo en Colombia.

En este sentido, se resalta en los textos la importancia de generar programas de apoyo entre los actores claves de la sociedad para reducir las brechas en innovación y productividad que trae consigo la adopción tecnológica, superar sus retos y fomentar el desarrollo económico de la región. Es entonces que la investigación no debe ser solo un proceso teórico, sino que los nuevos descubrimientos deben derivar en innovaciones de alcance práctico para las empresas y la sociedad en general, siendo la información y los datos los activos de mayor valor.

Todos los sectores empresariales en Colombia deben hacer parte de este nuevo desarrollo de habilidades, procesos, modelos de negocios, productos y servicios digitales, sin embargo las necesidades de recursos pueden variar entre ellos. El sector terciario es clave pues deberá adaptarse a las nuevas necesidades tecnológicas por medio de la oferta de nuevos servicios o la transformación de los ya existentes.

### **Figura 52**

*Tópico 1: Industria 4.0 en Colombia*



**Figura 53**

*Tópico 2: Acceso a internet y tecnologías digitales en Colombia*



En conclusión, el camino hacia la Transformación Digital y apropiación de tecnologías de la Industria 4.0 es extenso e implica, no solo el apoyo del estado, sino también el de la academia y el sector empresarial. Por esto, desarrollar iniciativas que permitan fortalecer la triple hélice de Colombia en aras de fomentar la innovación colaborativa es una actividad de suma importancia.

No obstante, son varios los asuntos que deben abordarse para garantizar el éxito del país en materia de desarrollo tecnológico. La apropiación de las nuevas tecnologías es obsoleta si el país no cuenta con los recursos humanos capacitados y financieros necesarios para sobrellevar los nuevos retos derivados de una era marcada por el conocimiento y la información.

Hoy en día, la demanda de habilidades digitales y de TI es superior a su oferta lo cual induce a considerar una transformación del sistema educativo de manera que se atiendan las nuevas necesidades de formación. Asimismo, la conectividad del país resulta ser un tema de preocupación para el gobierno ya que el acceso a internet en zonas rurales es escaso. Esto retrasa su Transformación Digital pues si el acceso a internet no es garantizado para toda la población, no será posible seguir avanzado en materia tecnológica.

De acuerdo con la UNESCO Colombia es reconocida como líder en la generación de políticas públicas, destacándose la Política Nacional de Explotación de Datos (big data), la Política Nacional para la Transformación Digital e inteligencia artificial, la Política Nacional de Emprendimiento y la Política para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente: nuevo compromiso por el futuro de Colombia.

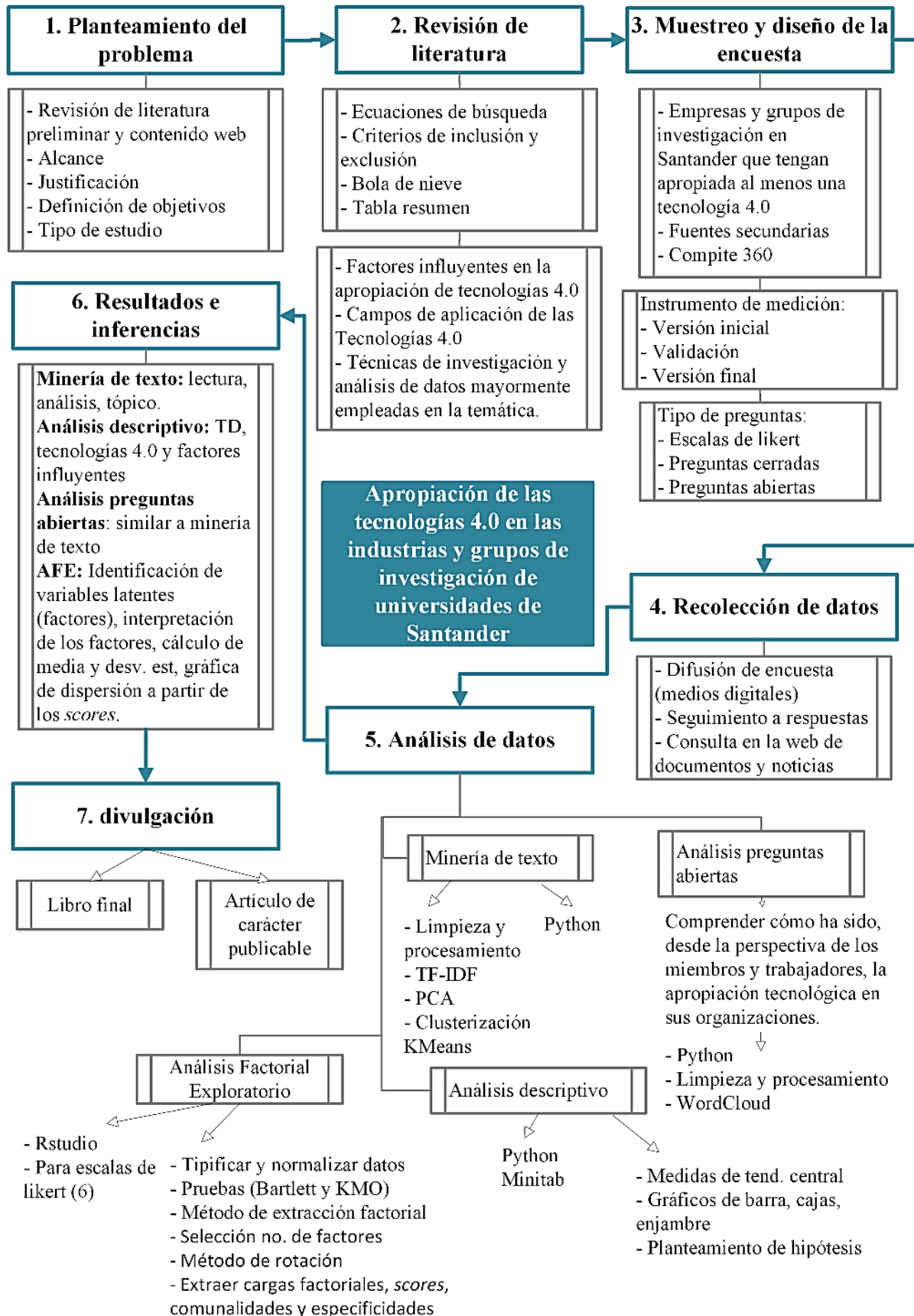
Finalmente, gracias a este proceso de Transformación Digital y de apropiación de tecnologías 4.0 en el país, mujeres y niñas han desarrollado sus capacidades y conocimientos en ciencia y tecnología generando mayores oportunidades laborales para ellas. Esto reduce las brechas salariales y contribuye con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## **6.5 Marco de trabajo**

El ultimo resultado de esta investigación fue la construcción de un marco de trabajo sobre la investigación (ver Apéndice R). En Figura 54 se muestra un diagrama del proceso realizado.

### **Figura 54**

*Diagrama de proceso del marco de trabajo*



## 7. Conclusiones

En esta investigación se diseñó un marco de trabajo para identificar la apropiación de las tecnologías 4.0 en las industrias y grupos de investigación de universidades de Santander. Con base en un Análisis Factorial Exploratorio (AFE) y minería de texto de información secundaria se concluye que la apropiación de tecnologías de la Industria 4.0 es un proceso paulatino que llega a ser obsoleto si no se cuentan con los recursos necesarios.

El Análisis Factorial se realizó de manera exploratoria con el propósito de estudiar los avances de la Transformación Digital, la apropiación de tecnologías 4.0 y los factores que influyen en esta para empresas y grupos de investigación de Santander. Los resultados permitieron identificar que, tanto para empresas como grupos de investigación, la Transformación Digital se puede dividir en dos grandes factores: el talento humano y el valor de los datos dentro de la organización. En Colombia se deben generar mayores esfuerzos en la formación de talento para que desde diferentes sectores se puedan enfrentar los cambios que implica la Industria 4.0 en toda la sociedad. Sin embargo, se debe fortalecer la infraestructura de conexión en el país de modo que toda la población pueda ser partícipe de los beneficios de estos adelantos tecnológicos.

Por su parte, la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas está representada en cuatro factores: tecnologías que logran plasmar el mundo real en un mundo virtual, tecnologías que permiten el desarrollo de cobots o robots, tecnologías para la fabricación inteligente y tecnologías con capacidad de manejo y almacenamiento de grandes volúmenes de datos. Estos dos últimos factores, también se encontraron dentro de lo analizado para grupos de investigación. Tanto para empresas como para grupos de investigación, la computación en la nube y la analítica de datos son

las tecnologías mayormente apropiadas. En el caso de las empresas, las medianas evidencian mayor apropiación de estas tecnologías que las micro y pequeñas empresas. Las medianas y grandes empresas realizan por lo general mayor vigilancia de tecnologías 4.0, asignación de responsables y monitoreo de la Transformación Digital que las micro y pequeñas empresas.

En cuanto a la identificación de variables que influyen en la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas, se encontraron tres factores, uno centrado tanto en las variables internas de las empresas como en las variables externas que afectan el entorno en el que estas se desenvuelven; otro factor enfocado en las capacidades estructurales para la apropiación de tecnologías 4.0, y el último relacionado con aspectos económicos, condiciones de trabajo internas y factores políticos externos. En este caso, la influencia de los factores difiere dependiendo del tamaño de empresa.

Para los grupos de investigación, los tres factores se centran en las variables inherentes a cada grupo de investigación como la inversión de capital inicial y las habilidades digitales de los miembros, las variables que pueden ser incentivos para la apropiación de tecnologías y las variables relacionadas con la importancia de los datos y los agentes externos que pueden influir en la intención de apropiar tecnologías 4.0. El camino de Colombia hacia la Industria 4.0 requiere del esfuerzo de diferentes actores claves de la sociedad por lo que es un imperativo que se sigan reforzando las sinergias existentes y se creen nuevas estrategias que permitan generar innovación colaborativa en la región.

En otras palabras, la apropiación de tecnologías 4.0 abarca una gran cantidad de decisiones e involucra diferentes áreas de una organización que deben afianzarse para lograr una exitosa apropiación. Colombia, debido a su biodiversidad, tiene una enorme oportunidad en la innovación y apropiación tecnológica principalmente en la agroindustria y el sector manufacturero. No obstante, es necesario transformar el sistema educativo del país y generar más investigación

aplicada ya que esta permite la generación y transferencia de nuevos conocimientos hacia la sociedad. A su vez, se debe involucrar más el sector privado en el desarrollo de la región pues no debe limitarse únicamente al ejercicio productivo. Este sector tiene la capacidad de transformar productiva, comercial e industrialmente una sociedad por lo que sus acciones deben integrarse con los esfuerzos del gobierno y de instituciones educativas de modo que se genere un mayor impacto en la sociedad.

## **8. Recomendaciones**

En esta investigación la muestra empleada para la encuesta permitió obtener el punto de vista del sector académico y empresarial. Asimismo, en la minería de texto se concibió la perspectiva del sector público. Sin embargo, se recomienda para futuras investigaciones relacionadas con la apropiación de tecnologías 4.0, el empleo de una muestra de mayor tamaño. Para esto, el punto de vista administrativo del sector público puede tenerse en cuenta también en el muestreo para la encuesta o como apoyo para su distribución debido a que este actor es clave para el desarrollo económico y tecnológico de la región.

A partir del análisis de datos se identificó que las preguntas abiertas proporcionaron información valiosa sobre la situación digital de las organizaciones en Santander. Por lo tanto, la recolección de datos a partir de técnicas más personales como la entrevista favorecería la interacción con los encuestados, hecho que posibilita la obtención de información más detallada sobre la temática. Por otra parte, se recomienda que en las entrevistas o encuestas se tomen otras

dimensiones que permitan la identificación de los campos y formas de aplicación de las tecnologías 4.0, especialmente en los grupos de investigación.

Por su parte, la revisión de literatura permitió distinguir una brecha en las investigaciones sobre apropiación de tecnologías 4.0 en grupos de investigación. Por esto, se sugiere la formulación de proyectos orientados a disminuir esta brecha.

Considerando que en esta investigación se empleó un enfoque exploratorio, se recomienda seguir el estudio de la temática con un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) o ecuaciones estructurales para afianzar el entendimiento de los factores que llevan a una correcta implementación de las tecnologías de la Industria 4.0. A su vez, se sugieren corroborar las hipótesis planteadas en esta investigación relacionadas con la apropiación de tecnologías 4.0 en empresas y grupos de investigación en Santander que debido al tipo de muestreo no fue posible comprobar estadísticamente.

### Referencias Bibliográficas

- Aamer, A. M., Al-Awlaqi, M. A., Affia, I., Arumsari, S., Ifd, and Mandahawi, N. (2021). The internet of things in the food supply chain: adoption challenges. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2020-0371>
- Ahmad, S., Miskon, S., Alkanhal, T. A., and Tlili, I. (2020). Modeling of business intelligence systems using the potential determinants and theories with the lens of individual, technological, organizational, and environmental contexts-a systematic literature review. *Applied Sciences – MDPI*, 10(9), 23. <https://doi.org/10.3390/app10093208>
- Ahmed, S. (2019). A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 11(1), 1839–1852. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2018-0012>
- AIN. (2019a). *Drones Génicos*. Asociación de la Industria Navarra. <https://www.ain.es/archivo-proyectos/drones-genicos/>
- AIN. (2019b). *DRUGMAG*. Asociación de la Industria Navarra. <https://www.ain.es/archivo-proyectos/drug-mag/>
- AIN. (2021). *IMPRIMED: Biotecnología aplicada a la obtención de polímeros imprimibles para aplicaciones biomédicas a partir de subproductos de origen agroalimentario de Navarra*. Asociación de la Industria Navarra. <https://www.ain.es/archivo-proyectos/imprimed-biotecnologia-aplicada-a-la-obtencion-de-polimeros-imprimibles-para-aplicaciones-biomedicas-a-partir-de-subproductos-de-origen-agroalimentario-de-navarra/>

- Al-Sayed, R., and Yang, J. (2020). Towards Chinese smart manufacturing ecosystem in the context of the one belt one road initiative. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 11(3), 291–310. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-02-2018-0012>
- Alfonso Sánchez, I. R. (2016). La Sociedad de la Información, Sociedad del Conocimiento y Sociedad del Aprendizaje. Referentes en torno a su formación. *Bibliotecas Anales de Investigación*, 12(2), 231–239. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5766698>
- Altopiedi, M., Hernández de la-Torre, E., y López-Yáñez, J. (2015). Características relevantes de grupos de investigación destacados en Andalucía. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 6(16), 126–142. <https://doi.org/10.1016/j.rides.2015.07.002>
- Alvarado Cardona, L. M. (2021). *Adaptación de la Industria 4.0 en Países Desarrollados y Subdesarrollados* (Tesis de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia, Cali.
- Álvarez, F. (2017). Implementación de nuevas tecnologías: Valuación, variables, riesgos y escenarios tecnológicos. <https://ri.ufg.edu.sv/jspui/handle/11592/8803>
- Álvarez Mendoza, Y., Londoño Gómez, T. J., and Leguizamón Páez, M. A. (2020). Risks and security solutions existing in the Internet of things (IoT) in relation to Big Data. *Ingeniería y Competitividad*, 23(1), 13. <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i1.9484>
- Antonopoulos, N., and Gillam, L. (2017). *Cloud Computing: Principles, Systems and Applications*. Sammes (Ed.), *Computer Communications and Networks* (Segunda Ed, Vol. 15, Issue 1). Springer International Publishing AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54645-2>
- Arcidiacono, F., Ancarani, A., Di Mauro, C., and Schupp, F. (2019). Where the Rubber Meets the Road. Industry 4.0 among SMEs in the Automotive Sector. *IEEE Engineering Management Review*, 47(4), 86–93. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2932965>

- Arnau Sabatés, L., y Sala Roca, J. (2020). *La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad*. Recuperado el 20 de junio 2021, del sitio web de la Universidad Autónoma de Barcelona: [https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revlilteie\\_a2020.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revlilteie_a2020.pdf)
- Arreola García, A. (2019). *Ciberseguridad: ¿Por qué es importante para todos?*, Universidad Anáhuac Primera. Siglo XXI Editores. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZqHDDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=ciberseguridad+caracteristicas&ots=yhbb66Yrf6&sig=0c4Xzhwe\\_CXZ0oVzbFuVvnj\\_qs4#v=onepage&q=ciberseguridad%20caracteristicas&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZqHDDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=ciberseguridad+caracteristicas&ots=yhbb66Yrf6&sig=0c4Xzhwe_CXZ0oVzbFuVvnj_qs4#v=onepage&q=ciberseguridad%20caracteristicas&f=false)
- Ayala, P. J., Fernández, L., Patiño, M. C., Durán, I. M., García, J. P., y Peñaranda, D. A. (2021). Lineamientos y recomendaciones para la construcción de una política de Industrias 4.0 (p. 60). *Dirección de Estudios Económicos*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/EstudiosEconomicos/532.pdf>
- Bafna, P., Pramod, D., and Anagha, V. (2016). Document Clustering: TF-IDF approach. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 61–66. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0536-5.ch013>
- Banafa, A. (2017). *Por qué Internet de las cosas necesita inteligencia artificial*. BBVAopenmind. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/mundo-digital/por-que-internet-de-las-cosas-necesita-inteligencia-artificial/>
- Bantu Group. (2021). *Ciencia de datos e Inteligencia de Negocios, características y diferencias*. Blog Oficial de Bantu. <https://www.bantugroup.com/blog/ciencia-de-datos-e-inteligencia-de-negocios>

- Belotti, M., Božić, N., Pujolle, G., and Secci, S. (2019). A Vademecum on Blockchain Technologies: When, Which, and How. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(4), 3796–3838. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2928178>
- Benítez Palma, E. (2020). La transformación digital del control externo del gasto público. *Auditoria Pública*, 76, 19–30. <https://asocex.es/wp-content/uploads/2020/11/Revista-Auditoria-Publica-no-76-pag-19-a-30.pdf>
- Bigliardi, B., Bottani, E., and Casella, G. (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: A bibliographic analysis. *Procedia Manufacturing*, 42, 322–326. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.086>
- Bockholt, N. (2017). *Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta y ¿qué significa “inmersión” realmente?*, Think with Google. <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/es-es/futuro-del-marketing/nuevas-tecnologias/realidad-virtual-aumentada-mixta-que-significa-inmersion-realmente/>
- Bum, C. H., Mahoney, T. Q., and Choi, C. (2018). A comparative analysis of satisfaction and sustainable participation in actual leisure sports and virtual reality leisure sports. *Sustainability - MDPI*, 10(10), 12. <https://doi.org/10.3390/su10103475>
- Business Trend. (2021). *COLOMBIA: La conectividad, eje de la reactivación en 2021*. <http://www.businesstrend.com.ar/colombia-la-conectividad-eje-de-la-reactivacion-en-2021/>
- Cagliano, A. C., Mangano, G., and Rafele, C. (2021). Determinants of digital technology adoption in supply chain. An exploratory analysis. *Supply Chain Forum*, 22(2), 100–114. <https://doi.org/10.1080/16258312.2021.1875789>

- Camacho Castillo, J. D., Oropeza, E., y Lozoya Rodríguez, O. I. (2017). Internet de las cosas y Realidad Aumentada: Una fusión del mundo con la tecnología. *ReCIBE - Revista Electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 6(1), 139–150.
- Carrillo Punina, Á. P. (2017). Globalización: Revolución Industrial y Sociedad De La Información. *Revista Ciencia*, 19(2), 269–284. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i2.535>
- Castellanos Guerrero, D. A. (2020). Diseño de arquitectura para la aplicación de Blockchain en un caso de estudio de manufactura aditiva (Tesis de maestría). *Departamento de Ingeniería Industrial*, Universidad de los Andes, Colombia. <http://hdl.handle.net/1992/51000>
- CEPAL. (2018). Datos, Algoritmos y Políticas: La redefinición del mundo digital. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43477-datos-algoritmos-politicas-la-redefinicion-mundo-digital>
- CEPAL. (2019). Industria 4.0: Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe. In Naciones Unidas. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011_es.pdf)
- Cortés P., Á. M., y Zabala V., S. A. (2017). Propuesta para la medición y transmisión remota de variables ambientales y de proceso para el sector agrícola, basada en redes de sensores inalámbricas - WSN. En Editorial IAI (Ed.), *Desarrollo e innovación en ingeniería* (pp. 619 - 638). [https://www.researchgate.net/profile/Edgar\\_Serna\\_M/publication/331385353\\_Desarrollo\\_e\\_innovacion\\_en\\_ingenieria\\_ed\\_2/links/5c76e4ce92851c69504663b5/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-ed-2.pdf#page=379](https://www.researchgate.net/profile/Edgar_Serna_M/publication/331385353_Desarrollo_e_innovacion_en_ingenieria_ed_2/links/5c76e4ce92851c69504663b5/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-ed-2.pdf#page=379)

- Curioso, W. H., y Brunette, M. J. (2020). Inteligencia artificial e innovación para optimizar el proceso de diagnóstico de la tuberculosis. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(3), 554–558. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.373.5585>
- Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática*, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto, España. <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- El Tiempo. (2018). *Así puede aplicar a beneficios tributarios por invertir en innovación*. El tiempo. <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/beneficios-tributarios-por-innovacion-como-aplican-las-empresas-574591>
- Espinosa, S. (2020). *Guía de referencia de Blockchain para la adopción e implementación de proyectos en el Estado Colombiano* (Versión 1). <https://www.arduino.cc/reference/es/>
- Faggella, D. (2020). *What is Machine Learning?*, Emerj: The AI Research and Advisory Company. <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>
- Fernández, A., Llorens, F., Juiz, C., Maciá, F., y Aparicio, J. M. (2018). Lecciones aprendidas. En *Cómo priorizar los proyectos TI estratégicos para tu universidad* (pp. 92–95). [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/86867/1/Priorizacion\\_Proyectos\\_TI\\_Universidades.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/86867/1/Priorizacion_Proyectos_TI_Universidades.pdf)
- Forero de Moreno, I. (2009). La sociedad del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdoba*, 5(7), 40–44. <https://www.redalyc.org/pdf/4762/476248849007.pdf>
- Galati, F., and Bigliardi, B. (2019). Industry 4.0: Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, 109, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.018>

- Gangwar, H., and Date, H. (2016). Critical factors of cloud computing adoption in organizations: An empirical study. *Global Business Review*, 17(4), 886–904. <https://doi.org/10.1177/0972150916645692>
- Gatica Neira, F. E., y Ramos Maldonado, M. A. (2020). Políticas públicas y redes para el desarrollo de las tecnologías 4.0 en Chile. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 19, 28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n19.475>
- GDX Group. (2020). *6 indicadores para medir el éxito de la Transformación Digital de las organizaciones*. <https://gdx-group.com/6-indicadores-para-medir-exito-transformacion-digital/>
- Godoy Viera, A. F. (2017). Técnicas de aprendizaje de máquina utilizadas para la minería de texto. *Revista Investigación Bibliotecológica*, 31(71), 103–126. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57812>
- Golovina, T., Polyandin, A., Adamenko, A., Khegay, E., and Schepinin, V. (2020). Digital Twins as a New Paradigm of an Industrial Enterprise. *International Journal of Technology*, 11(6), 1115–1124. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i6.4427>
- Gopalakrishnan, S., and Bierly, P. (2001). Analyzing innovation adoption using a knowledge-based approach. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 18(2), 107–130. [https://doi.org/10.1016/S0923-4748\(01\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0923-4748(01)00031-5)
- Grosman, N., Braude, H., Rovira, S., y Patiño, A. (2021). Hecho en América Latina: Fabricación inteligente y una nueva esperanza de industrialización en la región. En CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47567-hecho-america-latina-fabricacion-inteligente-nueva-esperanza-industrializacion>

Guevara, R. E. (2018). *Servicios de cómputo en la nube (cloud computing)* (Tesis de pregrado).

Universidad de Quintana Roo, México. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1956>

Guirao Goris, J. A., Olmedo Salas, A., y Ferrer Ferrandis, E. (2015). El artículo de revisión. *Revista*

*Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1(1), 25. <https://doi.org/10.1590/s0864-34662008000400011>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología

de la Investigación, Sexta edición, Mc Graw Hill Education. [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Herrera Bedoya, O. E. (2016). Propuesta de incentivos para el uso de las TIC en el tejido

productivo Colombiano comparada con la realidad de la región latinoamericana. *I Simposio Interinstitucional de Investigación Piloto Universidad Piloto de Colombia y XII Simposio Interno de Investigación Piloto Universidad Piloto de Colombia*, Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/292642175\\_Propuesta\\_de\\_incentivos\\_para\\_el\\_uso\\_de\\_las\\_TIC\\_en\\_el\\_tejido\\_productivo\\_Colombiano\\_comparada\\_con\\_la\\_realidad\\_de\\_la\\_region\\_latinoamericana](https://www.researchgate.net/publication/292642175_Propuesta_de_incentivos_para_el_uso_de_las_TIC_en_el_tejido_productivo_Colombiano_comparada_con_la_realidad_de_la_region_latinoamericana)

IAC. (2018). *¿Qué es IoT?* <https://www.iac.com.co/que-es-iot/>

Iglesias Rodríguez, E., García Zaballos, A., Puig Gabarró, P., y Benzaqué, I. (2020). Inteligencia

artificial: Gran oportunidad del siglo XXI. En S. Schineller, J. Gomila, & G. Cleiman (Eds.), Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Inteligencia-artificial-Gran-oportunidad-del-siglo-XXI-Documento-de-reflexion-y-propuesta-de-actuacion.pdf>

IIC. (2019). *El Big Data y la nube: los servicios Cloud*. Instituto de Ingeniería Del Conocimiento.

<https://www.iic.uam.es/innovacion/big-data-la-nube-servicios-cloud/>

Ivanov, D., Tang, C., Dolgui, A., Battini, D., and Das, A. (2021). Researchers' perspectives on Industry 4.0 : multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. *International Journal of Production Research, Taylor & Francis*, 59(7), 2055–2078.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1798035>

Jung, H., and Lee, B. G. (2020). Research trends in text mining: Semantic network and main path analysis of selected journals. *Expert Systems with Applications*, 162, 12.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113851>

Kim, J. (2001). Elite strategies and the spread of technological innovation: The spread of iron in the Bronze Age societies of Denmark and Southern Korea. *Journal of Anthropological Archaeology*, 20(4), 442–478. <https://doi.org/10.1006/jaar.2001.0386>

Kreisler Joly, D. J. (2018). *Análisis del impacto de las principales revoluciones científicas y tecnológicas en la sociedad : De la primera revolución industrial a la Industria 4.0* (Tesis de pregrado). Universidad Pontificia Comillas, España.

<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/22693>

Lee, C., and Lim, C. (2021). From technological development to social advance: A review of Industry 4.0 through machine learning. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 12. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120653>

Lee, J., Singh, J., and Azamfar, M. (2019). Industrial Artificial Intelligence. *En Arxiv*, 1-10.

<https://doi.org/10.1360/SST-2020-0383>

- Legarreta García, J. I. (2020). *Materiales avanzados en fabricación aditiva*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/materiales-avanzados-en-fabricacion-aditiva-jon-iker-legarreta-garcia/?originalSubdomain=es>
- Lim, D. (2019). Advanced technology of the fourth industrial revolution and Korean ancient history: Study on the use of artificial intelligence to decipher Wooden Tablets and the restoration of ancient historical remains using virtual reality and augmented reality. *International Journal of Korean History*, 24(2), 13–45. <https://doi.org/10.22372/ijkh.2019.24.2.13>
- López Aguado, M., y Gutiérrez Provecho, L. (2019). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS. *Revista D'Innovació i Recerca En Educació*, 12(2), 1–14. <https://doi.org/http://doi.org/10.1344/reire2019.12.227057>
- López Muñoz, F., Velásquez Pérez, L. C., García Capote, E., López Vázquez, I., y Povedano Montero, F. J. (2021). Análisis bibliométrico y mapeo de redes de la literatura científica internacional de la Academia de Ciencias de Cuba en Web of Science ( 1968-1994 ). *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 11(2), 1-16. <http://www.revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/960>
- Lyu, B., and He, M. (2021). The application of artificial intelligence technology of 6G internet of things communication combined with drama language art. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 12. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01142-7>
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., and Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition and productivity*. En McKinsey Global Institute. [https://bigdatawg.nist.gov/pdf/MGI\\_big\\_data\\_full\\_report.pdf](https://bigdatawg.nist.gov/pdf/MGI_big_data_full_report.pdf)

- Marín Fajardo, G. (2021). *La industria 4.0: un análisis comparado entre países Latinoamericanos países desarrollados* (Tesis de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia, Santiago de Cali.  
[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33284/4/2020\\_industria\\_an%C3%A1lisis\\_comparado.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33284/4/2020_industria_an%C3%A1lisis_comparado.pdf)
- Mavrou, I. (2015). Análisis factorial exploratorio: Cuestiones conceptuales y metodológicas. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a La Enseñanza de Las Lenguas*, 19, 71–80.  
<https://doi.org/10.26378/rmlael019283>
- Mejía Criollo, N. (2018). *Expectativas de la cuarta revolución industrial* (Tesis de pregrado). Universidad del Rosario, Bogotá. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/20008>
- Méndez Martínez, C., y Rondón Sepúlveda, M. A. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41(1), 197–207.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80624093014>
- Meneses, J. (2019). Introducción al análisis multivariante (FUOC). Universidad Oberta de Cataluña, primera edición. <https://femrecerca.cat/meneses/publication/introduccion-analisis-multivariante/>
- Mercader Uguina, J. (2018). Robótica y Riesgos Laborales. *Revista Scielo*. En Arch Prev Riesgos Labor, 21(3). <https://doi.org/10.12961/aprl.2018.21.03.1>
- Mercado Pérez, M., y Escobar Borja, M. (2020). El Big Data como estrategia para disminuir la brecha digital en la Región Caribe - Colombia. *Sapienza Organizacional*, 7(14), 132–161.  
<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/sapienza/article/view/16663>
- Minciencias. (s.f.). Grupos de investigación. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.  
<https://minciencias.gov.co/glosario/grupo-investigacion>

- Minciencias. (2020). Colombia hacia una sociedad del conocimiento. En Informe de la misión internacional de sabios 2019 por la educación, la ciencia, la tecnología y la innovación (Olaya M, A). [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/ebook-colombia\\_hacia\\_una\\_sociedad\\_del\\_conocimiento.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/ebook-colombia_hacia_una_sociedad_del_conocimiento.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional. (2019). *Sistema nacional de información de la educación superior – SNIES glosario*. mineducacion.gov. <https://www.guatesur.gob.gt/wp-content/uploads/2019/07/Acuerdo-Ministerial-No-1811-2019-1.pdf>
- Ministerio del Trabajo. (2019). “*MiPymes representan más de 90% del sector productivo nacional y generan el 80% del empleo en Colombia*”: ministra Alicia Arango. Mintrabajo.Gov. <https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/comunicados/2019/septiembre/mipymes-representan-mas-de-90-del-sector-productivo-nacional-y-generan-el-80-del-empleo-en-colombia-ministra-alicia-arango>
- MinTic. (2019). Guía con lineamientos generales para el uso de tecnologías emergentes. En Gobierno digital Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. [https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-160829\\_Guia\\_Tecnologias\\_Emergentes.pdf](https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-160829_Guia_Tecnologias_Emergentes.pdf)
- Montoya Suárez, O. (2007). Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados: caso de estudio. *Scientia et Technica*, 3(35), 281–286. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4804281&info=resumen&idioma=ENG>
- Morales, M. E., Ortíz Riaga, C., y Arias Cante, M. A. (2012). Factores determinantes de los procesos de innovación: una mirada a la situación en Latinoamérica. *Revista EAN*, 72, 148–163. <https://doi.org/10.21158/01208160.n72.2012.573>

- Morgado García, M. (2016). *PyText: Una Librería para la Minería de Textos Basada en Python* (Tesis de pregrado). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/12581>
- Mukherjee, A. A., Singh, R. K., Mishra, R., and Bag, S. (2021). Application of blockchain technology for sustainability development in agricultural supply chain: justification framework. *Operations Management Research*, 1- 16. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00180-5>
- Muñoz Loayza, B. (2018). *Ventajas y desventajas del muestreo probabilístico y no probabilístico en investigaciones científicas* (Tesis de pregrado), Universidad Técnica de Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12906/1/ECUACE-2018-MKT-DE00140.pdf>
- Napolitano, J. (2020). *Asistentes de realidad aumentada con inteligencia artificial*. Techedge Group. <https://www.techedgegroup.com/es/blog/asistentes-de-realidad-aumentada-con-inteligencia-artificial>
- Nguyen, T., Gosine, R. G., and Warriar, P. (2020). A Systematic Review of Big Data Analytics for Oil and Gas Industry 4.0. *IEEE Access*, 8, 61183–61201. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979678>
- Oke, A. E., Aigbavboa, C., and Omole, O. (2019). Drivers to the adoption of automation and robotics in the construction industry. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1011–1020. <http://ieomsociety.org/toronto2019/papers/300.pdf>
- Oliveira, J. (2017). *La tecnología que enseña a los robots a pensar como humanos*. El País. [https://elpais.com/tecnologia/2017/06/13/actualidad/1497355219\\_887959.html](https://elpais.com/tecnologia/2017/06/13/actualidad/1497355219_887959.html)

- Otegui Castillo, J. (2017). La Realidad Virtual y la Realidad Aumentada en el proceso de marketing (Tesis de pregrado). *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, 1(24). Universidad del País Vasco, España. <https://ojs.ehu.es/index.php/rdae/article/view/19141>
- Oviedo Celina, H., y Campo Arias, A. (2005). Aproximación al uso Coeficiente Alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), 572–580. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272002000200001>
- Peña Galvis, O. L., y Palacio Osorio, G. J. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de “industry 4.0” en Colombia. *Revista Loggin*, 2(2), 113–121. <https://doi.org/10.23850/25907441.2007>
- Perdomo Sánchez, E., Díaz Blanco, J., Ojeda González, A., & Amador Domínguez, N. (2017). *Análisis de los procesos de lematización y estemizado en lingüística computacional* [Conference paper]. Conferencia Internacional lingüística 2017, Cuba. [https://www.researchgate.net/publication/322364515\\_ANALISIS\\_DE\\_LOS\\_PROCESOS\\_DE\\_LEMATIZACION\\_Y\\_ESTEMIZADO\\_EN\\_LINGUISTICA\\_COMPUTACIONAL](https://www.researchgate.net/publication/322364515_ANALISIS_DE_LOS_PROCESOS_DE_LEMATIZACION_Y_ESTEMIZADO_EN_LINGUISTICA_COMPUTACIONAL)
- Pérez Bustamante, R. (2022). *Desarrollo en materiales avanzados para la industria aeroespacial*. Mexicoindustry. <https://mexicoindustry.com/noticia/desarrollo-en-materiales-avanzados--para-la-industria-aeroespacial>
- Pérez, E., y Medrano, L. (2010). Análisis Factorial Exploratorio: Bases Conceptuales y Metodológicas Artículo de Revisión. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento (RACC)*, 2(1), 58–66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3161108>

- Pineda Márquez, K., Morales Rubiano, M. E., y Ortiz Riaga, M. C. (2011). Modelos y mecanismos de interacción universidad-empresa-estado: retos para las universidades colombianas. *Revista Equidad y Desarrollo*, 1(15), 41–67. <https://doi.org/10.19052/ed.193>
- Pizzi, S., Corbo, L., and Caputo, A. (2021). Fintech and SMEs sustainable business models: Reflections and considerations for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 281, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125217>
- Porcelli, A. M. (2020). Un nuevo statu quo económico, industrial y social: La Quinta Revolución Industrial y Sociedad 5.0. *Diario DPI Suplemento Derecho y Tecnología*, 56, 1–6. [https://www.researchgate.net/publication/339850315 Un nuevo statu quo economico i ndustrial\\_y\\_social\\_La\\_Quinta\\_Revolucion\\_Industrial\\_y\\_Sociedad\\_50](https://www.researchgate.net/publication/339850315_Un_nuevo_statu_quo_economico_i ndustrial_y_social_La_Quinta_Revolucion_Industrial_y_Sociedad_50)
- Kaiser, S., and Ali, R. (2018). Text Mining: Use of TF-IDF to Examine the Relevance of Words to Documents. *International Journal of Computer Applications*, 181(1), 25–29. <https://doi.org/10.5120/ijca2018917395>
- Qi, B., Razkenari, M., Li, J., Costin, A., Kibert, C., and Qian, S. (2020). Investigating U.S. industry practitioners' perspectives towards the adoption of emerging technologies in industrialized construction. *Buildings*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10050085>
- Quero Virla, M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Revista de Estudios Interdisciplinarios*. 12(2), 6. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99315569010>
- Quiroga S., L. P. (2018). La Robótica: Otra forma de aprender. *Revista de Educación & Pensamiento*, 25(25), 51–64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6592450>
- Ramanathan, S., and Ramasundaram, M. (2021). Accurate computation: COVID-19 rRT-PCR positive test dataset using stages classification through textual big data mining with

- machine learning. *The Journal of Supercomputing*, 7074–7088.  
<https://doi.org/10.1007/s11227-020-03586-3>
- Ramírez Montoya, M. S. (2019). Colaboración multidisciplinar para la formación y la investigación: grupos de investigación de enfoque estratégico, cátedra unesco y red openenergy. En A. Mendoza Domínguez (ed.), *Innovación y sustentabilidad energética* (pp. 17-32). Colaboración Multidisciplinar, MOOC e investigación educativa.  
[https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/636946/Cap.%201\\_RITEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/636946/Cap.%201_RITEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ratnasingam, J., Latib, H. A., Yi, L. Y., Liat, L. C., and Khoo, A. (2019). Extent of automation and the readiness for industry 4.0 among Malaysian furniture manufacturers. *BioResources*, 14(3), 7095–7110. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.7095-7110>
- Riahi, Y., and Riahi, S. (2018). Big Data and Big Data Analytics: concepts, types and technologies. *International Journal of Research and Engineering (IJRE)*, 5(9), 524–528.  
<https://doi.org/10.21276/ijre.2018.5.9.5>
- Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., and Paiva, S. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 - A Literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
- Rigueros Bello, C. (2017). La realidad aumentada: lo que debemos conocer. *Revista Tecnología Investigación y Academia*, 5(2), 257–261.  
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/11278/pdf>
- Rivas Mago, L., y Ganvini Valcárcel, C. (2021). COVID-19: acelerador de la transformación digital. *Yachay - Revista Científico Cultural*, 10(1), 532–535.  
<https://doi.org/10.36881/yachay.v10i1.396>

- Rivoir, A. L., y Morales, M. J. (2019). *Tecnologías digitales: Miradas críticas de la apropiación en América Latina*. [https://www.clacso.org.ar/libreria-latinoamericana/libro\\_detalle.php?orden=&id\\_libro=1797&pageNum\\_rs\\_libros=1&totalRows\\_rs\\_libros=1375](https://www.clacso.org.ar/libreria-latinoamericana/libro_detalle.php?orden=&id_libro=1797&pageNum_rs_libros=1&totalRows_rs_libros=1375)
- Rodal, E. (2019). *Qué son los Sistemas Ciber-Físicos en la Industria 4.0*. *Podcastindustria40*. <https://www.podcastindustria40.com/sistemas-ciber-fisicos/>
- Rojas Berrío, S., Rincón Novoa, J., Ascúa, R., y Revale, H. (2020). *Tecnologías digitales emergentes en emprendimientos y Mipymes (Colombia)*. En *Escuela de Administración y Contaduría Pública*. <http://fce.unal.edu.co/media/files/CentroEditorial/documentos/documentosEACP/documentos-EACP-39.pdf>
- Roland Berger. (2016). *El reto de la transformación digital de la economía*. <https://www.siemens.com/global/en.html>
- Rosero García, J. A. (2019). *Transformación Digital y Desempeño Organizacional en Empresas del Sector de Energía Eléctrica* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77839>
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. [https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros\\_contenido\\_extra/40/39307\\_Inteligencia\\_artificial.pdf](https://planetadelibrosar0.cdnstatics.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf)
- Rozo García, F. (2020). *Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0*. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177–192. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>

- Rueda Barrios, G., y Rodenes Adam, M. (2016). Factores determinantes en la producción científica en los grupos de investigación en Colombia. *Revista Española de Documentación Científica*, 39(1), 16. <https://doi.org/10.3989/redc.2016.1.1198>
- Rueda Rueda, J. S., Manrique, J. A., y Cabrera Cruz, J. D. (2017). Internet de las Cosas en las Instituciones de Educación Superior. *Congreso Internacional En Innovación y Apropiación de Las Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones – CIINATIC*. [https://www.researchgate.net/publication/319914477\\_Internet\\_de\\_las\\_Cosas\\_en\\_las\\_Instituciones\\_de\\_Educacion\\_Superior](https://www.researchgate.net/publication/319914477_Internet_de_las_Cosas_en_las_Instituciones_de_Educacion_Superior)
- Russo, C., Ramón, H., Alonso, N., Cicerchia, B., Esnaola, L., y Tessore, J. P. (2016). Tratamiento Masivo de Datos Utilizando Técnicas de Machine Learning. *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 131–134. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52838>
- Sanabria Sepúlveda, D., Castro Santana, S., y Salvador Rojas, J. (2019). *Retos de seguridad informática en ambientes de computación big data* (Tesis de pregrado). Universidad Santiago de Cali, Valle del cauca. <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/3698>
- Sánchez, G. B. (2018). Las primeras cinco revoluciones industriales. *Cienciorama*, 6. [http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/585\\_cienciorama.pdf](http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/585_cienciorama.pdf)
- Sarc, R., Curtis, A., Kandlbauer, L., Khodier, K., Lorber, K. E., and Pomberger, R. (2019). Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review. *Waste Management*, 95, 476–492. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.035>

- Schroeder, W. (2016). La estrategia alemana Industria 4.0: el capitalismo renano en la era de la digitalización. [http://fes-madrid.org/media/2017\\_FESpublicaciones/FES\\_Industria\\_4.0.pdf](http://fes-madrid.org/media/2017_FESpublicaciones/FES_Industria_4.0.pdf)
- Schwab, K. (2016). La Cuarta Revolución Industrial (Editorial). World Economic Forum. [http://40.70.207.114/documentosV2/La cuarta revolucion industrial-Klaus Schwab \(1\).pdf](http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-Klaus%20Schwab%20(1).pdf)
- Schwab, K. (2020). La Cuarta Revolución Industrial. *Futuro Hoy*, 1(1), 6–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4299164>
- Secretaría de las TIC. (2016). *Internet de las cosas*. [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet de las cosas&oldid=76451697](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet%20de%20las%20cosas&oldid=76451697)
- Shanmuga Sundari, P., and Subaji, M. (2016). Big data analytics in healthcare system for diverse perspectives. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 8(3), 18430–18445. <http://www.ijptonline.com/wp-content/uploads/2016/10/18430-18445.pdf>
- Shou, Y., Zhao, X., and Chen, L. (2019). Operations strategy of cloud-based firms: achieving firm growth in the Big Data era. *International Journal of Operations and Production Management*, 40(6), 873–896. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0089>
- Sinaga, K. P., & Yang, M. S. (2020). Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 80716–80727. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796>
- Tortorella, G. L., and Fettermann, D. (2018). Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Tristán López, A. (2008). Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo. *Avances En Medición*, 6, 37–48.

[https://www.humanas.unal.edu.co/lab\\_psicometria/application/files/9716/0463/3548/VO\\_L\\_6\\_Articulo4\\_Indice\\_de\\_validez\\_de\\_contenido\\_37-48.pdf](https://www.humanas.unal.edu.co/lab_psicometria/application/files/9716/0463/3548/VO_L_6_Articulo4_Indice_de_validez_de_contenido_37-48.pdf)

UNIR. (2019). *Data Science, Big Data y Business Intelligence. De la Ciencia de Datos a la Inteligencia de Negocios.* La Universidad de Internet. <https://mexico.unir.net/ingenieria/noticias/data-science-big-data-business-intelligence-ciencia-de-datos-inteligencia-de-negocios/>

Unired. (2017). *Centro de Computación más avanzado de Colombia funcionará en la UIS.* Notired. <http://unired.edu.co/index.php/noti-red/centro-comp-mas-avanzado-colombia-uis>

University of Kent. (2022). *Cyber Security Research Group.* Research Kent. <https://research.kent.ac.uk/cyber-security-group/>

Valoyes Mosquera, A. (2019). *Ciberseguridad en Colombia. Seminario (SIA), Universidad Piloto de Colombia.* <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6370/CIBERSEGURIDAD%20EN%20COLOMBIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VDMA. (2016). *An Overview Industrie 4.0 Research at German Research Institutes. VDMA Industrie 4.0 Forum,* 1–57. <https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2016/10/study-i40-research-vdma.pdf>

Velasco Chaves, R., Ordóñez Arias, C., y Restrepo Sánchez, M. (2020). *Transformación digital e industrias 4.0.* [https://www.innulsacolombia.com/sites/default/files/documentos-recursos-pdf/Analitica\\_II.pdf](https://www.innulsacolombia.com/sites/default/files/documentos-recursos-pdf/Analitica_II.pdf)

Velásquez, L. D., Alba López, L. M., Palencia Pérez, A. S., y Suárez, C. G. (2019). *Aspectos básicos de la Industria 4.0.* [https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-124767\\_recurso\\_1.pdf](https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-124767_recurso_1.pdf)

- Velásquez Ruíz, J. (2021). *Rol de las tecnologías emergentes “i 4.0 ” en las medianas y grandes empresas en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad de la Sabana, Bogotá.  
<https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/47317>
- Vilamitjana, A. (2019). *Inteligencia artificial y realidad virtual, palancas de la digitalización*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/TIC/Articulos/252476-Inteligencia-artificial-y-realidad-virtual-palancas-de-la-digitalizacion.html>
- Villalonga Jaen, A., Castaño Romero, F., Haber Guerra, R., Beruvides López, G., y Arenas, J. (2018). El control de sistemas ciberfísicos industriales: revisión y primera aproximación. *Actas de Las XXXIX Jornadas de Automática*, 916–923.  
<https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.0916>
- VOXCO. (s.f.). *Business Intelligence*. VOXCO Blog. <https://www.voxco.com/blog/business-intelligence/>
- Ynzunza Cortés, C. B., Izarl Landeta, J. M., Bocarando, J. G., Aguilar Pereyra, F., y Larios Osorio, M. (2017). El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Revista ConCiencia Tecnológica*, 54, 33–45.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Zhou, R., Awasthi, A., and Stal-Le Cardinal, J. (2021). The main trends for multi-tier supply chain in Industry 4.0 based on Natural Language Processing. *Computers in Industry*, 125, 103369. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103369>