



Modelo Learning Factory 4.0:

**Relación universidad - empresa como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías
empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0.**

Modalidad de Práctica: Trabajo de grado

Verónica Andrea Morales González

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Industrial

Asesora

Yenny Alejandra Aguirre Álvarez, Magíster (MSc) en Ingeniería Industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Medellín

2024

Cita	(Morales González, 2024)
Referencia	Morales González, V. A. (2024). <i>Modelo Learning Factory 4.0: relación universidad - empresa como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0</i> . Trabajo de grado. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Grupo de Investigación

Ingeniería y sociedad



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Mario Alberto Gaviria Giraldo.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado con profundo agradecimiento y cariño a mi amada familia, cuyo apoyo incondicional ha sido mi mayor fortaleza a lo largo de este camino. A mis padres, hermanos y seres queridos, les debo todo mi éxito y gratitud por estar siempre a mi lado, brindándome aliento y comprensión.

A mi mentor, ingeniero Hernán Trujillo, por haberme introducido en el mundo de la ingeniería industrial y por ayudarme a descubrir mi verdadero potencial en esta carrera.

A José Rivera por su confianza en mí y por brindarme la oportunidad de crecer y desarrollarme como ingeniera industrial en su empresa. Su mentoría y liderazgo fueron fundamentales en mi formación profesional y en la consecución de este logro.

Agradecimientos

A mi apreciada asesora del proyecto de grado, Yenny Alejandra Aguirre, le doy las gracias por su dedicación y orientación experta a lo largo de este proceso. Su guía y apoyo fueron esenciales para culminar este trabajo de grado con éxito.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las empresas que participaron activamente en este trabajo de grado, brindando información valiosa a través de entrevistas y contribuyendo así al desarrollo y enriquecimiento de la investigación.

Quiero extender mi gratitud a mis compañeros de carrera, quienes compartieron conmigo esta travesía académica y fueron una fuente constante de apoyo, colaboración y motivación. A lo largo de nuestros estudios, hemos enfrentado desafíos juntos, hemos celebrado éxitos y hemos aprendido unos de otros. Sus ideas, perspectivas y amistad han enriquecido mi experiencia universitaria y han contribuido significativamente al desarrollo de este trabajo de grado.

¡Gracias a todos por formar parte de este propósito!

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1. Planteamiento del problema.....	14
1.1. Pregunta de investigación.....	15
2. Objetivos	16
2. 1. Objetivo general	16
2. 2. Objetivos específicos.....	16
3. Marco teórico	17
3.1. Conceptos generales	17
3.2. Principios de la industria 4.0	18
3.3. Pilares de la industria 4.0	19
4. Metodología	24
4. 1. Fase I. Caracterización	24
4. 2. Fase II. Diseño.....	25
4. 3. Fase III. Monitoreo.....	26
5. Resultados y análisis	27
5.1. Fase I. Caracterización	27
5.1.1. Caracterización de los pilares de la industria 4.0 en el contexto colombiano.....	27
5.1.2. Necesidades tecnológicas empresariales a nivel país.....	37
5.1.3. Caracterización de Learning Factory en los perfiles de formación en contextos empresariales del país.	51
5.1.4. Entregable 1. Infografía de la industria 4.0 en Colombia, la tecnología (dura y blanda) usada por sus empresas y la relación de Learning Factory en los perfiles de formación.	67

5.1.5.	Resumen del análisis de la fase 1	67
5.2.	Fase II. Diseño.....	68
5.2.1.	Comparar los pilares y tecnologías asociadas con industria 4.0, las competencias de los perfiles de formación, la aplicación de Learning Factory en el contexto de la industria colombiana.	68
5.2.2.	Relacionar las necesidades tecnológicas empresariales e industria 4.0.	74
5.2.3.	Entregable 2: Paso a paso metodológico de valoración para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas.	76
5.2.4.	Resumen del análisis de la fase 2	76
5.3.	Fase III. Monitoreo.....	77
5.3.1.	Generar una escala de valoración del impacto de los perfiles de formación más afines con la cuarta revolución y sus pilares.....	77
5.3.2.	Proponer indicadores de medición como aporte de los perfiles de formación para el monitoreo empresarial.....	78
5.3.3.	Entregable: Análisis cruzado de la relación universidad - empresa en términos de los impactos académicos y empresariales fortalecidos por la aplicación de la industria 4.0..	81
5.3.4.	Resumen del análisis de la fase 3	82
6.	Conclusiones	84
7.	Recomendaciones	86
	Referencias	87
	Anexos.....	94

Lista de tablas

Tabla 1 Pilares vs. tecnologías de la industria 4.0.....	22
Tabla 2 Caracterización de los pilares de la industria 4.0 en Colombia	33
Tabla 3 Nivel de desarrollo/disponibilidad de los pilares de la industria 4.0 en Colombia.	36
Tabla 4 Distribución de empresas por ciudades y sectores	38
Tabla 5 Generalidades de las empresas entrevistadas	40
Tabla 6 Cantidad de IES por nodo según ACOFI.....	52
Tabla 7 Tamaño de muestra por nodo	52
Tabla 8 Matriz comparativa de perfiles de formación de I.I.	54
Tabla 9 Matriz comparativa de perfiles de formación de I.I. diligenciada.	56
Tabla 10 Encabezados del mapa de competencias del programa de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia.....	70
Tabla 11 Matriz comparativa: Competencias vs pilares I4.0	71
Tabla 12 Matriz de cruce de pilares I4.0.	75
Tabla 13 Indicadores de medición.....	79
Tabla 14 Análisis cruzado de la relación universidad - empresa en términos de los impactos académicos y empresariales fortalecidos por la aplicación de la industria 4.0.	82
Tabla 15 Calificación de nivel de aplicación de los pilares en la empresa.	99
Tabla 16 Plazo de inversión en nuevas tecnologías	100
Tabla 17 Formato consentimiento informado	101

Lista de figuras

Figura 1 Árbol de problema.	15
Figura 2 Estructura metodológica	24
Figura 3 Adopción de las tecnologías avanzadas por tamaño de empresa Colombia 2017.....	28
Figura 4 Resultados ¿Qué tan integrada está la tecnología en sus procesos operativos?	40
Figura 5 Resultados ¿Han implementado soluciones de automatización en sus procesos productivos?	41
Figura 6 Resultados ¿Qué tan avanzada está la empresa en términos de transformación digital?41	
Figura 7 Resultados ¿Utilizan sistemas de gestión empresarial (ERP) para integrar procesos internos?	42
Figura 8 Resultados ¿Cómo evalúa la infraestructura tecnológica actual de su empresa en términos de soporte para el crecimiento empresarial?	43
Figura 9 Resultados ¿Qué obstáculos o limitaciones se han encontrado para la adopción de nuevas tecnologías en la empresa?.....	43
Figura 10 Resultados ¿En qué medida las tecnologías actuales satisfacen las necesidades de su empresa en términos de eficiencia operativa?.....	44
Figura 11 Resultados ¿La empresa está abierta a la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar sus procesos?.....	45
Figura 12 Resultados ¿Cuáles considera que son las principales áreas donde la empresa podría beneficiarse de mejoras tecnológicas?	45
Figura 13 Resultados ¿Cuál es el presupuesto destinado a tecnología en la empresa?.....	46
Figura 14 Resultados Presupuesto para tecnología vs integración de la tecnología.	47
Figura 15 Resultados Nivel de implementación de los pilares.	48
Figura 16 Resultados plazo de inversión en los pilares.	49
Figura 17 Porcentaje de inclusión de las variables en el programa.	57
Figura 18 Porcentaje de inclusión de las competencias de formación en el campo disciplinar dentro del programa.	57
Figura 19 Porcentaje de participación de las competencias de formación en el campo disciplinar.	58

Figura 20 Porcentaje de inclusión de las competencias de los complementos técnicos dentro del programa.....	59
Figura 21 Porcentaje de participación de las competencias de los complementos técnicos.	60
Figura 22 Porcentaje de inclusión de las competencias de las habilidades personales dentro del programa.....	60
Figura 23 Porcentaje de participación de las competencias de las habilidades personales.	61
Figura 24 Porcentaje de participación de las variables.	62
Figura 25 Porcentaje de inclusión general de las variables dentro del programa por tipo de universidad	63
Figura 26 Modalidades del programa por tipo de IES.	64
Figura 27 Porcentaje de inclusión general de las variables dentro del programa por nodo.	64
Figura 28 Porcentaje de inclusión de las variables dentro del programa por tipo de Universidad.	65
Figura 29 Porcentaje de inclusión de las variables dentro del programa por nodo.....	65
Figura 30 Paso a paso metodológico.....	68

Siglas, acrónimos y abreviaturas

3D	Tres dimensiones
ACOFI	Asociación colombiana de facultades de ingeniería
BI	Business intelligence
CAD	Diseño asistido por computadora
CAF	Corporación andina de fomento
CCIT	Cámara colombiana de informática y telecomunicaciones
CICCE	Centro internacional de capacitación en ciencias empresariales
DNP	Departamento nacional de planeación de Colombia
ENC	Estrategia nacional de ciberseguridad
ERP	Planificación de recursos empresariales
FSTD	Dispositivo de entrenamiento para simulación de vuelo
I4.0	Industria 4.0
IA	Inteligencia artificial
ICC	Índice de competitividad de las ciudades
IES	Institución (es) de educación superior
I.I.	Ingeniería industrial
IMA	Índice de Madurez Analítica
IMC	Ingeniería del mejoramiento continuo
IoT	Internet de las cosas
LF	Learning Factory
M2M	Máquina a máquina
MinTIC	Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones de Colombia
MSc	Maestría en ciencias
NCSI	Índice nacional de seguridad cibernética
PIB	Producto interno bruto
PYMEs	Pequeñas y medianas empresas
RA	Realidad aumentada
REDIN	Red de decanos y directores del programa de ingeniería industrial y afines

RFID	Identificación por radio frecuencia
RV	Realidad virtual
TI	Tecnología de la información
TIC	Tecnologías de la información y las comunicaciones
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

El proyecto de investigación titulado "Modelo Learning Factory 4.0: relación universidad - empresa como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0" se centra en el desarrollo de competencias académicas cruciales para gestionar eficazmente las tecnologías empresariales en Colombia, en el marco de la industria 4.0.

Inicialmente, se llevó a cabo una fase de caracterización para comprender las necesidades tecnológicas empresariales en el país, evaluando la aplicación de los pilares de la industria 4.0 y la integración de Learning Factory en los programas de formación. Posteriormente, en la fase de diseño, se establecieron comparaciones detalladas y se desarrolló una metodología de evaluación que permite la gestión eficiente de estas tecnologías en el contexto colombiano. La tercera fase se centró en el monitoreo, evaluando el impacto de los perfiles de formación alineados con la cuarta revolución industrial mediante indicadores específicos.

Este proyecto aspira a proporcionar una contribución sustancial al entendimiento y aplicación de la industria 4.0 en Colombia, destacando la colaboración esencial entre universidades y empresas para desarrollar competencias necesarias en un entorno tecnológico en rápida evolución. Los resultados preliminares obtenidos ofrecen una base sólida para futuras investigaciones que podrían profundizar y ampliar estos hallazgos, asegurando una preparación óptima de los profesionales colombianos frente a los desafíos emergentes de la cuarta revolución industrial.

Palabras clave: competencias académicas, fábrica de aprendizaje, gestión eficiente, industria 4.0, relación universidad-empresa, tecnologías empresariales

Abstract

The research project titled "Learning Factory 4.0 Model: University-Industry Relationship as a Driver for Efficient Management of Colombian Business Technologies in the Context of Industry 4.0" focuses on developing crucial academic competencies for effectively managing business technologies in Colombia within the framework of Industry 4.0. Initially, a characterization phase was conducted to understand business technological needs in the country, assessing the application of Industry 4.0 pillars and the integration of Learning Factory in educational programs. Subsequently, in the design phase, detailed comparisons were made and an evaluation methodology was developed to enable efficient management of these technologies in the Colombian context. The third phase focused on monitoring, evaluating the impact of training profiles aligned with the fourth industrial revolution through specific indicators. This project aims to provide a substantial contribution to the understanding and application of Industry 4.0 in Colombia, highlighting the essential collaboration between universities and businesses to develop necessary competencies in a rapidly evolving technological environment. The preliminary results obtained provide a solid foundation for future research that could further deepen and expand these findings, ensuring optimal preparation of Colombian professionals for emerging challenges in the fourth industrial revolution.

Keywords: academic competencies, learning factory, efficient management, industry 4.0, university-industry relationship, business technologies.

Introducción

La industria 4.0 está revolucionando la forma en que las empresas operan a nivel global, y Colombia no es la excepción. La rápida evolución de las tecnologías empresariales exige que los profesionales estén equipados con las habilidades necesarias para gestionarlas eficazmente. En este contexto, el presente proyecto de investigación se enfoca en desarrollar un modelo que fomente la colaboración entre universidades y empresas, facilitando así una gestión más eficiente de estas tecnologías avanzadas.

Este proyecto comienza con una fase de caracterización que busca comprender el panorama actual de las necesidades tecnológicas empresariales en Colombia, evaluando la aplicación de los principios de la industria 4.0 y la integración de Learning Factory en los programas académicos. Posteriormente, se diseña una metodología detallada que permite valorar el impacto de las competencias académicas en la gestión de estas tecnologías, utilizando herramientas como matrices comparativas y escalas de calificación. Finalmente, se facilita la validación y el monitoreo de las necesidades tecnológicas empresariales mediante indicadores específicos.

Los resultados preliminares de este estudio proporcionan una base sólida para futuras investigaciones que pueden profundizar y expandir estos hallazgos. Esto asegurará que los profesionales colombianos estén mejor preparados para enfrentar los desafíos de la cuarta revolución industrial.

1. Planteamiento del problema

Los ejercicios de formación en las Instituciones de Educación Superior (IES) han enfrentado dinámicas que hacen que las metodologías de enseñanza migren a la representación cada vez más significativa de las problemáticas y contextos empresariales en las aulas de clase, de forma tal que los retos que la comunidad estudiantil enfrente, sean cada vez más más similares y preparatorios para el campo laboral.

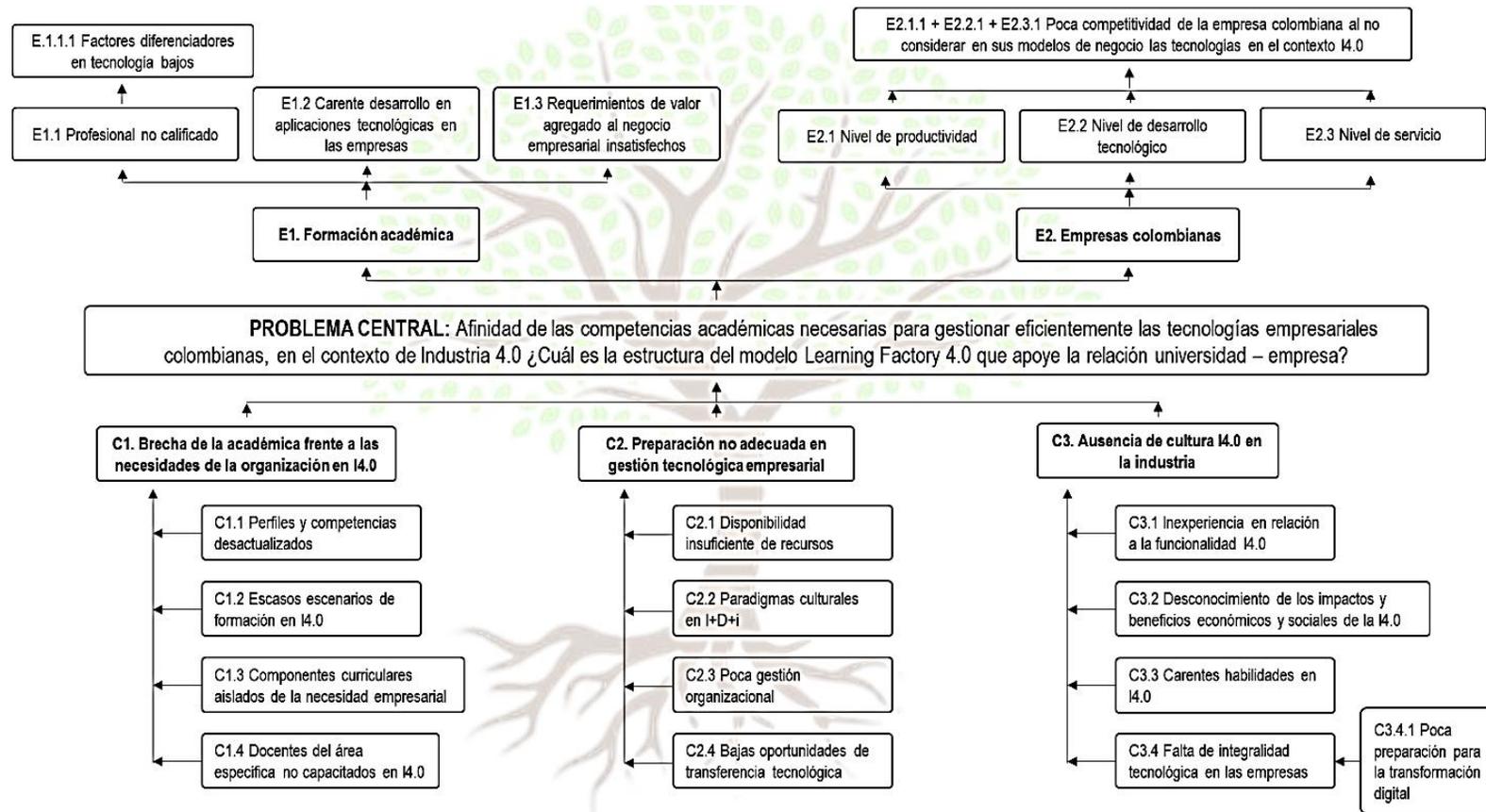
Parte de ese contexto es la necesidad de fortalecer competencias en tecnologías, que hagan de los profesionales, egresados altamente competentes, sin embargo, tendencias como la industria 4.0 viene relegando en la mayoría de los casos por desconocimiento, a muchas profesiones que distan conceptualmente de la aplicación de estas tecnologías por el poco conocimiento, falta de infraestructura o desinterés cultural de implementación de lo que representan los retos para las IES.

Como ejemplo a lo anteriormente expuesto, Rojas Arenas, *et al*, 2020 en su ponencia concluyen en relación con cómo las universidades muestran preocupación por estar al día en relación con la industria 4.0, siendo conscientes de su impacto en el sistema educativo. Mencionan además que no todas muestran fortalezas específicas en esta temática, por lo cual permea el contenido curricular con cursos en programación, Internet de las cosas o big data, destacando que aún así no se trata adecuadamente los problemas de fondo, tales como la formación rigurosa en ciencias exactas y la pertinencia de los perfiles en el sector productivo y la sociedad.

De forma concisa, el proyecto “Modelo Learning Factory 4.0: relación universidad - empresa como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0” aborda como problema central la afinidad de las competencias académicas necesarias para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0 (I4.0). Dicho problema puede focalizar sus principales causas en tres vertientes: a) brecha de la academia frente a las necesidades de la organización en I4.0, b) preparación no adecuada en gestión tecnológica empresarial y c) Ausencia de cultura I4.0 en la industria, tal como lo muestra la figura 1.

Figura 1

Árbol de problema.



1.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es la estructura del modelo Learning Factory 4.0 que apoye la relación universidad - empresa?

2. Objetivos

2. 1. Objetivo general

Desarrollar un modelo Learning Factory 4.0 que apoye la relación universidad - empresa como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0.

2. 2. Objetivos específicos

- Caracterizar el panorama de las tecnologías empresariales a nivel país, con relación a las aplicaciones de la industria 4.0 y la afinidad de los perfiles de formación para gestionarlas eficientemente, desarrollado en el marco de Learning Factory 4.0.
- Diseñar una metodología que permita valorar el impacto de las competencias académicas necesarias para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de industria 4.0.
- Estructurar escenarios de Learning Factory que permitan potencializar el aprendizaje significativo aplicado para la validación y monitoreo de las necesidades tecnológicas empresariales en la cuarta revolución industrial.

3. Marco teórico

3.1. Conceptos generales

Industria 4.0: Comenzó en Alemania en el año 2011 en la feria tecnológica de Hannover-Messe. Su principal objetivo es la digitalización de sistemas y procesos industriales, resultando ser la visión de la fábrica de futuro o fábrica inteligente. “La industria 4.0 es el producto más tangible de la cuarta revolución industrial”. (Joyanes Aguilar, 2017)

Implica la transformación digital de la industria y de las empresas con la integración de las nuevas tecnologías disruptivas, dentro de las que se pueden considerar los siguientes: ciberseguridad, computación en la nube, tecnologías móviles, máquina a máquina, impresión 3D, robots autónomos, big data /analítica, internet de las cosas, tecnologías RFID, computación cognitiva. (Rozo García, 2020)

Learning Factory: “El término fábricas de aprendizaje fue presentado en 1994 por un consorcio liderado por la Peen State University. Dicho concepto fue desarrollado con financiamiento de la Fundación Nacional de Ciencia” (Matus, et al, 2019).

Dentro de las principales características de las Learning Factory se encuentra que bajo un mismo espacio o ambiente que simula el espacio real de producción, se congregan la enseñanza y el aprendizaje. De esta manera, de acuerdo con Matus, et al (2019), los estudiantes podrán probar y aprender a manipular las tecnologías que probablemente dominarán, utilizarán o tendrán contacto en las fábricas reales, gracias a estos escenarios prácticos de trabajo. Para este caso particular de estudio, las fábricas de aprendizaje en industria 4.0, enfocan sus esfuerzos en la digitalización de la producción, la investigación y la transferencia de tecnología considerando para ello el Internet de las Cosas (IoT). (Montoya, Guarín, & Mora, 2020)

Relación universidad empresa: Representa una unión importante donde la contribución de las universidades en este modelo es brindar capacitación del talento humano, gestionar redes internacionales, para finalmente generar y difundir el conocimiento y la tecnología en unión con el sector industrial. En casos como México, actividades como los programas de capacitación internacional del recurso humano en la industria 4.0, ha generado sus frutos

evidenciados en el fortalecimiento de la investigación e innovación en estas tecnologías para el país. (Lafont Mendoza, Hoyos, F., & Ensuncho Muñoz, 2021)

Gestión eficiente de tecnologías empresariales: Es un desarrollo que entrelaza las competencias genéricas y específicas de los profesionales para no solo garantizar la adquisición de conocimiento, sino que de forma prospectiva pueda desempeñarse profesionalmente en los entornos tecnológicos cambiantes. De acuerdo con Ochoa Guevara, et al (2021), se tiene la necesidad de prácticas de laboratorio, que sean incluidas en las mallas curriculares bajo el contexto de industria 4.0; esto, soportado en la Teoría de Kolb, permite concluir que el incorporar las experiencias prácticas de laboratorio bajo esta visión incluyente, podrá ir mitigando la brecha de la usabilidad y accesibilidad de la tecnología e innovación en la academia.

La producción en los mercados laborales se asocia a la densidad tecnológica y a la motivación, se genera nuevas exigencias laborales por incremento de competencias genéricas y específicas; existe un nuevo contexto global de empleo a escala mundial, visualizado en el empleo en los servicios en función de tecnologías especializadas debido a la apertura de la economía. (Rama Vitale, 2021)

3.2.Principios de la industria 4.0

Virtualización: Permite supervisar todo el sistema, adaptar nuevos sistemas y mediante herramientas de simulación o realidad aumentada (Ghobakhloo, 2018; Cañas et al., 2021; Akdil et al., 2018; Dikhanbayeva et al., 2020).

Descentralización: Capacidad de las máquinas para tomar decisiones de forma independiente sin un comando central. La toma de decisiones se basa en el aprendizaje de los acontecimientos y acciones anteriores (Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B. (2016). Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017). Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

Trabajo en tiempo real: Capacidad de recolección y análisis de datos en tiempo real. Seguimiento y trazabilidad para reaccionar a la falla de una máquina inmediatamente y hasta cambiar la ruta de producción (Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017).

Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

Orientación a Servicios: Funciones de los procesos con un conjunto de servicios, especialmente web service (Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

Modularidad/Agilidad: Flexibilidad del sistema ante requisitos cambiantes mediante la sustitución o módulos separados basados en interfaces estandarizadas de software y hardware (Efatmaneshnik, M.; Shoal, S.; Qiao, L. (2018). Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

Interoperabilidad: Implica la comunicación de componentes de sistemas ciberfísicos entre sí utilizando Internet Industrial y procesos regulares de normalización para crear una fábrica inteligente (Burke, T (2017). Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017). Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

Integración horizontal y vertical: Vínculo entre los sistemas físicos y las plataformas de software habilitando un mecanismo de comunicación y coordinación asistido por servicios corporativos de gestión de datos y redes conectadas (Tavcar, J.; Horvath, I. (2018). Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Ustundag, A., Cevikcan, E., Akdil, K. Y. (2018). Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020)).

3.3.Pilares de la industria 4.0

De acuerdo con Boston Consulting Group los pilares de la industria 4.0 son nueve: big data, computación en la nube, fabricación aditiva o impresión 3D, Integración de sistemas horizontales y verticales, internet de las cosas, realidad aumentada, robótica, seguridad cibernética o ciberseguridad y simulación (Boston Consulting Group, s.f.).

Big data: El término "big data" se refiere al análisis de conjuntos de datos tan grandes que no pueden ser gestionados con técnicas tradicionales. Incluye un conjunto de técnicas para extraer valor de volúmenes masivos de datos y abarca diversos componentes para la recopilación,

almacenamiento y procesamiento de información. Este concepto evoluciona constantemente y no tiene límites bien definidos (Jerez González, 2023).

La recopilación de datos conecta sistemas como máquinas, sensores e internet de las cosas, apoyada por el desarrollo de robots y la generación de información en la nube. El big data es fundamental para generar conocimiento que respalde la toma de decisiones, haciendo que la inclusión de datos en este proceso sea crucial. En el contexto industrial, el uso de datos permite responder ágilmente a cambios y fluctuaciones, redefiniendo las operaciones (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).

Computación en la nube: “Transfiere los datos a alta velocidad, los almacena y gestiona la ventaja que representa en capacidad de respuesta, además de asegurar su disponibilidad desde cualquier parte del mundo proporcionando acceso a internet” (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).

La nube combina hardware y software para proporcionar almacenamiento y servicios como un servicio. Este ámbito involucra varios actores: proveedores que suministran aplicaciones y tecnologías, socios que crean servicios específicos para la nube, líderes empresariales que integran estos servicios en sus organizaciones y usuarios finales que utilizan estos servicios, ya sea gratuitamente o mediante pago (Aguilar, 2012).

Fabricación aditiva: También conocida como impresión 3D, la fabricación aditiva produce piezas a partir de modelos digitales en 3D. Utilizando programas de diseño asistido por computadora (CAD), los modelos se dividen en capas que una impresora 3D ensambla de abajo hacia arriba. Aunque relativamente nueva, esta tecnología está impactando significativamente por su eficiencia y economía, permitiendo la producción de una amplia gama de productos. La impresión 3D ofrece beneficios como complejidad y variedad sin costos adicionales, reducción de ensamblaje, producción personalizada, fabricación compacta y transportable, reducción de residuos, y una amplia gama de materiales. Estas ventajas la posicionan como una tecnología clave en la industria 4.0, mejorando la competitividad y eficiencia de las empresas (Díaz Vizoso, 2018; Parrales, Lino, & Hernandez, 2021).

Integración de sistemas horizontales y verticales: Aunque distintas, ambas integraciones buscan recopilar y compartir información de todo el ecosistema utilizando estándares de transferencia de datos, estableciendo una base para una cadena de valor y suministro automatizada. La integración horizontal se enfoca en adquirir empresas que sirvan a la misma base de clientes con productos o servicios complementarios, ampliando la presencia en el mercado y diversificando

la oferta. La integración vertical, en cambio, implica adquirir empresas que aporten nuevas capacidades para reducir costos y garantizar el acceso a suministros cruciales. En producción, la integración horizontal se refiere a la interconexión de procesos dentro de la fase de fabricación, mientras que la vertical implica una coordinación estrecha de la planta con procesos superiores como compras y control de calidad, incorporando un enfoque jerárquico (CampusMVP, 2021).

El Internet de las cosas: El IoT es la evolución de internet de una red de ordenadores interconectados a una red de objetos interconectados. Considerado un impulsor clave de la industria 4.0, junto con tecnologías como la inteligencia artificial, la robótica y la impresión 3D, el IoT conecta una amplia variedad de dispositivos, desde wearables y electrodomésticos hasta automóviles y elementos de infraestructuras públicas. Esto facilita la interacción máquina a máquina (M2M) y la conexión entre personas, objetos e incluso animales, como en ganadería y conservación de la biodiversidad (Moisés Barrio, 2021).

Realidad aumentada: “La realidad aumentada consiste en combinar el mundo real con el virtual mediante un proceso informático, enriqueciendo la experiencia visual y mejorando la calidad de comunicación” (Cornejo García, 2021).

En la industria 4.0, permite a los operadores acceder a información en tiempo real, como imágenes y datos, facilitando la resolución de problemas y la toma de decisiones. Por ejemplo, un trabajador puede usar AR para obtener información sobre una máquina averiada o un empleado en una fundición puede visualizar datos relevantes a través de gafas AR. Además, la AR sirve como herramienta de capacitación (Parrales, Lino, & Hernandez, 2021).

La seguridad cibernética: La ciberseguridad protege sistemas críticos e información confidencial de ataques digitales, también conocida como seguridad de la tecnología de la información (TI). Estas medidas están diseñadas para combatir amenazas tanto internas como externas en sistemas y aplicaciones en red (IBM, s.f.).

Con el aumento de la interconexión y el uso de la computación en la nube, se requiere desarrollar herramientas especializadas en ciberseguridad. Esto es crucial en el ámbito empresarial debido al riesgo de accesos no autorizados, intrusiones y pérdida de integridad de datos. La industria 4.0 demanda el uso inmediato de la información, complicando los protocolos de seguridad y resaltando la importancia de desarrollar algoritmos para la detección de patrones en tiempo real (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020)

Robótica: Los robots autónomos, que pueden realizar tareas simples, son cada vez más comunes, pero los cobots (robots colaborativos) están diseñados para realizar múltiples tareas y ayudar a los trabajadores en fábricas. En lugar de reemplazar empleos, los cobots pueden facilitar una coevolución entre la tecnología y los humanos (Parrales, Lino, & Hernandez, 2021).

Los robots mejoran la eficiencia de las líneas de producción y optimizan los sistemas. Para lograr un flujo eficiente, es crucial establecer relaciones entre las acciones de los robots y los sistemas de gestión de la información, integrando tecnologías y objetos físicos (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).

Simulación: La simulación se refiere a la imitación de operaciones de procesos o sistemas del mundo real a lo largo del tiempo. Esta práctica es fundamental en ingeniería e industria, ya que permite estudiar procesos en un ambiente controlado y repetible (Scanlan, s.f.).

Es ampliamente utilizada para evaluar cambios y comportamientos en la configuración de máquinas y flujos de procesos, siendo esencial en el análisis estratégico para nuevos proyectos. Su mayor ventaja radica en la capacidad de probar decisiones bajo condiciones simuladas, lo que garantiza el éxito o permite ajustes antes de la implementación (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).

Se presenta en la Tabla 1, una relación de las tecnologías de la industria 4.0 asociada a cada uno de los anteriores pilares.

Tabla 1

Pilares vs. tecnologías de la industria 4.0.

Nombre	Definición del pilar	Tecnologías asociadas	Autor
Big data	Recopilación, análisis y manipulación masiva de datos para una posterior utilización de las industrias.	Plataformas business intelligence (BI), tecnologías machine learning, sistemas de gestión de metadatos.	(Garghetti, 2023)
Computación en la nube	Tecnologías que permiten acceder de forma remota a dispositivos, maquinas o programas almacenados en un data center, y hacer modificaciones e interacciones sin necesidad de estar desde una red o equipo local.	Computación compartida, procesamiento big data.	(Salis, 2023)
Fabricación aditiva	También conocida como impresión 3D, son nuevas técnicas de elaboración de productos y modelos que reducen costos y tiempos de producción.	Impresoras 3D, diseños CAD, simuladores de impresión.	(Elhazmiri, 2022)

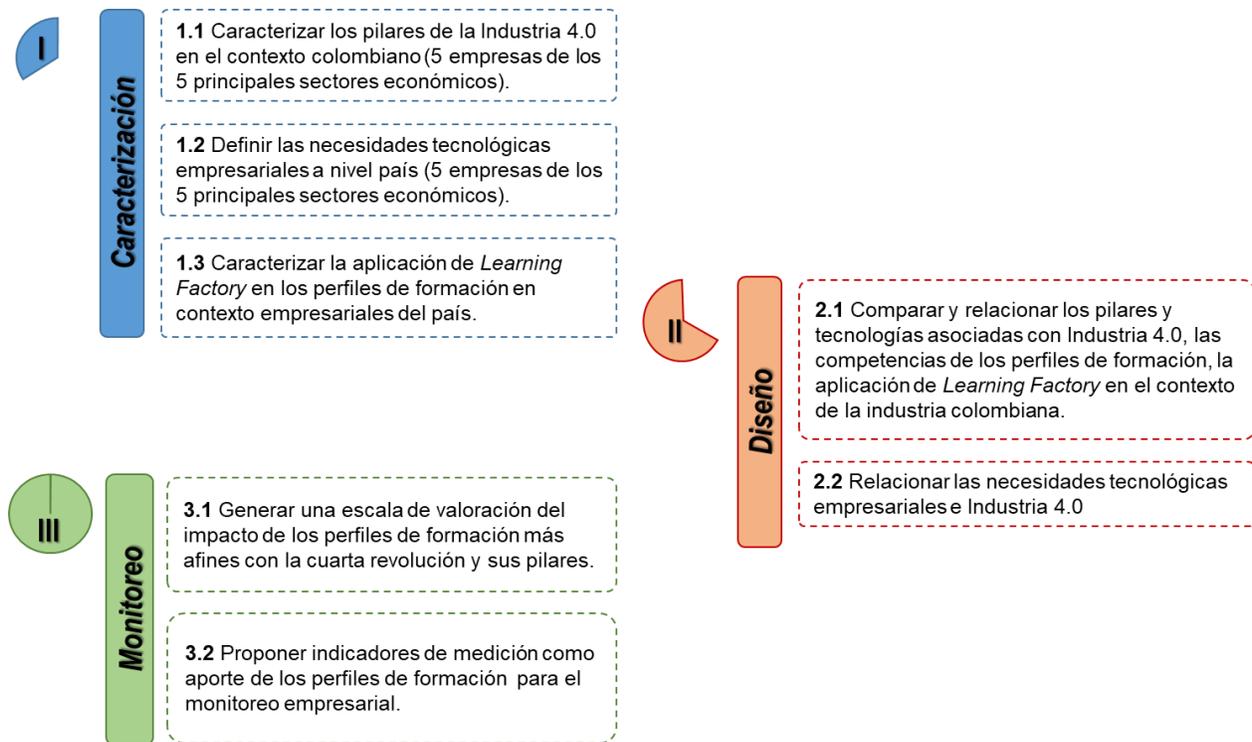
Integración horizontal y vertical	La integración horizontal se refiere a la interconexión de máquinas, procesos de ingeniería y dispositivos conectados a internet que hacen parte de los procesos básicos de la empresa, la integración vertical se refiere a la circulación ágil de información en la estructura jerárquica de la empresa, mediante tecnologías con el fin de una toma de decisiones acertada y efectiva.	Blockchain, IoT, plataformas de gestión en tiempo real.	(Abideen, 2023)
Internet de las cosas (IoT)	Según la compañía Oracle IoT es la red de objetos físicos con software, sensores, y otros dispositivos que permiten una interacción entre esos objetos mediante internet.	Sensores inteligentes, sistemas RFID, sistemas de localización y seguimiento.	(Chehri, 2021)
Realidad aumentada	Es un recurso tecnológico que ofrece experiencias que recrean escenarios, combinando los ámbitos físicos y virtuales.	Sensores de seguimiento de movimiento, digital twin, IoT, reconocimiento de objetos.	(Jagtap, 2021)
Robótica	Uso de robots dentro de las empresas para generar una automatización de los procesos.	Sensores de “visión robótica”, automatización de puestos y flujo de trabajo, transporte autónomo, robótica industrial.	(Baratta, 2023)
Seguridad cibernética	Son las prácticas de protección de sistemas expuestos a los ataques digitales que pueden afectar datos y/o la producción de las empresas.	Criptografía y encriptación de datos, autenticación con distintos factores,	(Kaur, 2023)
Simulación	Generación de modelos computacionales reales o hipotéticos de los cuales se puede predecir posibles comportamientos futuros.	Software de simulación, modelados 3D, gemelos digitales, realidad mixta.	(Cimino, 2023)

4. Metodología

El proyecto utiliza una metodología de investigación aplicada, además de ser descriptiva correlacional por las múltiples variables que en ella resultan ser objeto de estudio. Para llegar a las conclusiones, el método será deductivo mixto. En la figura 2, se muestra un esquema de dicha estructura metodológica, para posteriormente pasar a detallar su desarrollo.

Figura 2

Estructura metodológica



4. 1. Fase I. Caracterización

Objetivo:

Caracterizar el panorama de las tecnologías empresariales a nivel país, con relación a las aplicaciones de la industria 4.0 y la afinidad de los perfiles de formación para gestionarlas eficientemente, desarrollado en el marco de Learning Factory 4.0.

Actividades:

- Caracterizar los pilares de la industria 4.0 en el contexto colombiano (5 empresas de los 5 principales sectores económicos).
- Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país (5 empresas de los 5 principales sectores económicos).
- Caracterizar la aplicación de Learning Factory en los perfiles de formación en contextos empresariales del país.

Método:

Fuentes primarias, secundarias, encuestas a los actores dentro de la investigación (empresarios, expertos, investigadores, estudiantes, líderes de procesos, docentes).

Tipo de investigación:

Cualitativa desde fuentes documentales, cuantitativa a partir de esquemas gráficos para el análisis, correlacional para medir el grado de relación entre las variables identificadas, investigación de campo porque incluye entrevistas.

Entregable:

Infografía de la industria 4.0 en Colombia, la tecnología (dura y blanda) usada por sus empresas y la relación de Learning Factory en los perfiles de formación.

4. 2. Fase II. Diseño

Objetivo:

Diseñar una metodología que permita valorar el impacto de las competencias académicas necesarias para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de industria 4.0.

Actividades:

- Comparar y relacionar los pilares y tecnologías asociadas con industria 4.0, las competencias de los perfiles de formación, la aplicación de Learning Factory en el contexto de la industria colombiana.
- Relacionar las necesidades tecnológicas empresariales e industria 4.0.

Método:

Documentación estructurada, cruce de matrices cuantitativas.

Tipo de investigación:

Documental desde identificación de investigaciones relacionadas, descriptiva con respecto a las variables que hacen parte del estudio, investigación de campo porque recoge información relacionada con las empresas y explicativa en cuando al porqué del diseño del paso a paso metodológico.

Entregable:

Paso a paso metodológico de valoración para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas.

4. 3. Fase III. Monitoreo

Objetivo:

Estructurar escenarios de Learning Factory que permitan potencializar el aprendizaje significativo aplicado para la validación y monitoreo de las necesidades tecnológicas empresariales en la cuarta revolución industrial.

Actividades:

- Generar una escala de valoración del impacto de los perfiles de formación más afines con la cuarta revolución y sus pilares.
- Proponer indicadores de medición como aporte de los perfiles de formación para el monitoreo empresarial.

Método:

Documentación estructurada, cruce de matrices cuantitativas.

Tipo de investigación:

Aplicada empírica para el desarrollo de cada actividad del objetivo.

Entregable:

Análisis cruzado de la relación universidad - empresa en términos de los impactos académicos-sociales, empresariales y tecnológicos fortalecidos por la aplicación de la industria 4.0.

5. Resultados y análisis

A continuación, se presentarán uno a uno los resultados obtenidos de cada fase descrita en la metodología.

5.1. Fase I. Caracterización

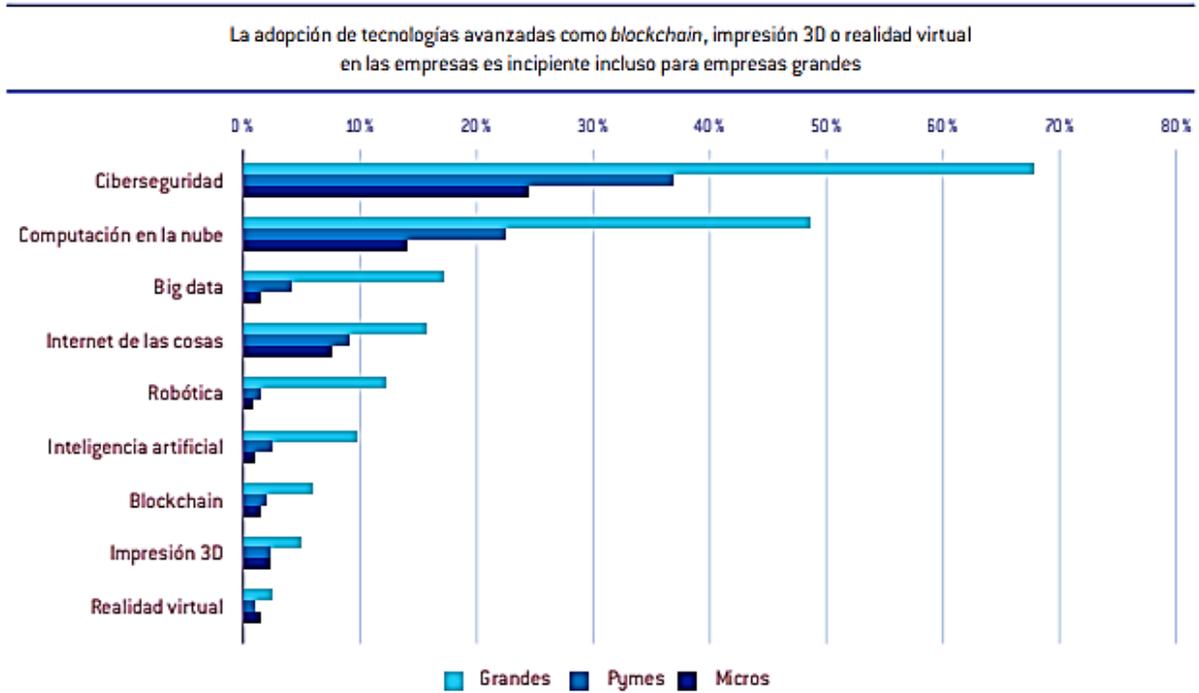
Para dar respuesta al objetivo “Caracterizar el panorama de las tecnologías empresariales a nivel país, con relación a las aplicaciones de la industria 4.0 y la afinidad de los perfiles de formación para gestionarlas eficientemente, desarrollado en el marco de Learning Factory 4.0”, se ejecutaron las actividades una por una, para obtener los siguientes resultados:

5.1.1. Caracterización de los pilares de la industria 4.0 en el contexto colombiano

La caracterización de Colombia en el contexto de la industria 4.0 revela una variabilidad significativa en la adopción de sus nueve pilares clave, influenciada por factores como la implementación de tecnologías avanzadas, la inversión en innovación y la preparación de la fuerza laboral. Según estudios recientes, aproximadamente una de cada cuatro empresas colombianas emplea inteligencia artificial (IA) en sus operaciones, mientras que casi la mitad está explorando su aplicación (IBM, La República, 2022). Esto se traduce en mejoras en eficiencia y competitividad, así como en una reducción de costos de producción. Sin embargo, el país aún enfrenta desafíos significativos para una adopción más generalizada de tecnologías como el internet de las cosas, la robótica y la impresión 3D, debido principalmente a limitaciones presupuestarias, falta de cultura organizacional y desconocimiento tecnológico (CONSEJO PRIVADO DE COMPETITIVIDAD, 2021; ANDI, 2020).

Figura 3

Adopción de las tecnologías avanzadas por tamaño de empresa Colombia 2017



Nota. Fuente (CONSEJO PRIVADO DE COMPETITIVIDAD, 2021)

Big data: Según el Índice de Madurez Analítica (IMA), Colombia enfrenta un déficit en big data con una puntuación de 46,1 sobre 100, comparado con el promedio de 49,7 en otros países latinoamericanos. El IMA de Cala Analytics evalúa la capacidad de las empresas para utilizar datos como fuente crucial para la toma de decisiones estratégicas. Este bajo puntaje en Colombia refleja limitaciones significativas en talento humano, bilingüismo y falta de inversión en tecnología tanto en el sector público como privado, según informes del DNP y CAF. A pesar de este panorama, diversos sectores están explorando nuevas alternativas para innovar en la recopilación de datos. Por ejemplo, la política de Gobierno en línea del Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones busca fomentar la inclusión social y el uso eficiente de las tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia. Según Cala Analytics, el sector financiero lidera en la adopción de datos con una puntuación de 47,9, seguido por el sector gubernamental con 46,0 sobre 100 (La nota económica, 2023).

Computación en la nube: La computación en la nube ha experimentado un notable avance en Colombia durante los últimos años, marcando una transición significativa en cómo las empresas

utilizan esta tecnología. Inicialmente concebida como un espacio para almacenar datos y acceder a ellos desde servidores externos, la nube ha evolucionado hacia la replicación de procesos estratégicos y relevantes. Esta transformación digital ha permitido a las empresas no solo mejorar la eficiencia y reducir costos, sino también reinventar sus modelos de negocio para adaptarse a un entorno digital cada vez más prominente (La República, 2022).

Según la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), el 72% de las empresas ya están familiarizadas y utilizan tecnología de nube, aunque enfrentan considerables barreras en su proceso de transformación digital (Bohórquez & Montes, 2022). Alberto Samuel Yohai, presidente de la Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones (CCIT), destaca que la nube facilita el acceso seguro a los datos según los roles definidos dentro de las organizaciones, permitiendo un control más preciso y generando trazabilidad en el uso de la información.

Desde el punto de vista legislativo, Germán Borromei de Oracle Colombia menciona a Forbes que la disponibilidad de nubes públicas en Colombia beneficia a las organizaciones que enfrentan restricciones para enviar datos fuera del país, reduciendo la latencia y mejorando la eficiencia de la comunicación. Colombia se destaca en América Latina por su rápida adopción de nube, con un crecimiento acelerado en la construcción de centros de datos que promueven la modernización de todas las industrias en el país (Bohórquez & Montes, 2022).

Fabricación aditiva: La fabricación aditiva ha evolucionado significativamente, pasando de ser una tecnología utilizada principalmente para prototipos industriales a convertirse en un método de producción en serie. Este avance ha democratizado el acceso al diseño y fabricación de productos, permitiendo a sectores como la industria aeroespacial y automotriz beneficiarse de procesos más eficientes y económicos (Niño-Ruiz, y otros, 2020).

En Colombia, esta tecnología está transformando sectores como la construcción, que históricamente ha sido resistente al cambio tecnológico. Empresas como Constructora Concreto están adoptando la fabricación aditiva para acelerar procesos, aumentar la productividad y reducir costos de producción hasta en un 30%. Según Carlos Camargo, fundador de makeR, el uso de impresoras 3D puede reducir el costo de producción hasta en un 10%, dependiendo de la empresa.

Aunque aún emergente, esta industria promete ofrecer productos personalizados y eficientes a costos competitivos, atrayendo a emprendedores y empresas dispuestas a invertir en innovación tecnológica (M., 2022; LOGIMAT, 2023).

Integración de sistemas horizontales y verticales: El análisis del estado actual de la implementación de tecnologías 4.0 en grandes empresas de Pereira revela que el 50% de las empresas están integradas horizontalmente, facilitando redes globales de información y bienes entre empresas, proveedores y clientes. Este enfoque incluye la adopción de nuevos modelos de negocio y asociaciones a nivel nacional e internacional.

Por otro lado, el 40% de estas empresas están avanzando hacia el concepto de fábrica inteligente, donde hay un flujo constante de datos entre diferentes departamentos y niveles jerárquicos, permitiendo una rápida adaptación a variables como la demanda, existencias, y problemas operativos.

Se destaca que la implementación de sistemas de integración vertical también está correlacionada con mejoras significativas en la eficiencia operativa, evidenciando una relación complementaria y sinérgica entre la integración horizontal y vertical (Álvarez Acevedo, 2022).

El internet de las cosas: El país está experimentando cambios significativos en economía, política y tecnología, destacándose la meta del gobierno de alcanzar un 85% de conectividad nacional. Actualmente, el 56,5% de los hogares tienen acceso a internet, con un 66,5% en áreas urbanas y un 23,8% en zonas rurales (DANE, s.f.).

La adopción de tecnologías avanzadas como la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y la comunicación máquina a máquina (M2M) está en aumento, especialmente en sectores críticos como salud, seguridad y emergencias. En Latinoamérica, se estima que el 47% de las empresas están en proceso de implementar soluciones IoT (La Nota Económica, s.f.).

En Colombia, empresas como Alpina han integrado IoT en su transporte, monitorizando condiciones como la velocidad y la temperatura de la carga en tiempo real. En la agricultura, los drones equipados con IoT permiten a los agricultores medir y gestionar variables climáticas, mejorando la eficiencia y reduciendo el uso de agroquímicos (GEINSYS, 2021).

Realidad aumentada: El mercado mundial de la Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) está experimentando un crecimiento significativo, proyectándose un aumento del 788% hasta 2024, alcanzando los USD 297,000 millones. Se espera que para ese año haya 1.7 mil millones de usuarios de RA móvil en todo el mundo, un incremento considerable desde 2015 (Statista, s.f.).

En Colombia, empresas de todos los tamaños están adoptando la RA con fines comerciales, de marketing y para mejorar la experiencia del usuario. Por ejemplo, Progerente ha utilizado la RA

e inteligencia artificial para ofrecer cursos y capacitaciones innovadoras, logrando mejoras significativas en la productividad y el rendimiento de equipos de innovación empresarial (Portafolio, 2022).

El país también ha sido pionero en integrar el metaverso en el ámbito judicial, como lo demostró el Tribunal Administrativo del Magdalena, facilitando procesos judiciales mediante avatares y ambientes digitales, apoyados por plataformas como Zoom y Teams. La Agencia Nacional Digital respalda estas iniciativas de transformación digital en diversas regiones del país, fomentando el uso de tecnologías como IA, big data, movilidad y blockchain, que también tienen aplicación en el metaverso. Empresas como Meals de Colombia y diversas instituciones públicas y universitarias están explorando activamente el potencial del metaverso y las aplicaciones de la RA y la IA en sus operaciones y comunicaciones internas (AGENCIA NACIONAL DIGITAL, 2023; La República, 2022).

Robótica: La automatización y la robótica en la industria colombiana están en una etapa inicial en comparación con países más avanzados tecnológicamente. Aunque hay implementaciones incipientes en algunas empresas para mejorar eficiencia y productividad, Colombia tiene menos de un robot por cada 10,000 trabajadores, en contraste con países como Corea, Japón y Alemania que cuentan con entre 300 y 450 robots por cada 10,000 trabajadores. Según Camilo Barrera de Robótica, la baja adopción de robótica en Colombia se debe a la falta de experiencia práctica en comparación con países más avanzados, donde se ha demostrado que el uso de robots aumenta la productividad, reduce costos y mejora la eficiencia operativa. A pesar de estos retos, la demanda creciente por eficiencia y calidad de productos podría impulsar la expansión de la tecnología robótica en el país. El gobierno y varias instituciones académicas están promoviendo el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial mediante programas de formación e investigación (METALMECÁNICA, 2023).

ROBOTIKA S. A. S., la primera empresa colombiana dedicada exclusivamente a la automatización con robots industriales, juega un papel crucial en la integración de robots en proyectos industriales en Colombia, proporcionando soluciones adaptadas a las necesidades técnicas y presupuestarias de la industria nacional (Robotika S.A.S., s.f.).

Seguridad cibernética: Durante el 2022, las denuncias por ciberdelitos en Colombia aumentaron un 26%, con una nueva denuncia cada ocho minutos, principalmente por hurto informático, que representó un incremento del 34% respecto al 2021. Los sectores más afectados

fueron industria, gobierno, educación y salud, con un 67% del total de denuncias provenientes de estas áreas. Las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) continúan siendo las más vulnerables a los ciberataques en Colombia, debido a estrategias débiles de ciberseguridad y falta de conciencia sobre las amenazas. El país cuenta con la Estrategia Nacional de Ciberseguridad (ENC), dirigida por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), que busca proteger los activos críticos de información y prevenir ciberataques (Bautista García, Mesa Guzmán, & Blanco, 2023).

Colombia se sitúa en el puesto 65 a nivel global en el Índice Nacional de Seguridad Cibernética (NCSI), reflejando su nivel de preparación para enfrentar amenazas y manejar incidentes cibernéticos a gran escala (Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones, 2022)

Simulación: Recientemente, Colombia ha visto un aumento en el uso de tecnologías de simulación virtual, especialmente en capacitaciones empresariales ofrecidas por instituciones como la Corporación CICCE (CICCE, 2017). WayGroup ha desarrollado simuladores de realidad virtual inmersiva con integraciones hápticas, destacándose por su capacidad para simular situaciones de accidentes de tránsito y salvando la vida de más de 36,954 actores viales el año pasado (La República, 2023).

En el ámbito aeronáutico, Colombia se ha posicionado como el segundo país de América Latina con mayor capacidad en simuladores de vuelo, pasando de seis a diecisiete dispositivos FSTD calificados entre 2019 y 2021. Este avance ha permitido que la simulación juegue un papel crucial en la ingeniería y la aviación, facilitando el desarrollo y pruebas de nuevos diseños de vuelo (AEROERMO, 2021).

Además, en el campo de la salud, la Universidad del Rosario ha inaugurado el Centro Avanzado de Simulación Clínica e Innovación Tecnológica, ofreciendo entrenamientos avanzados en cirugía y situaciones clínicas complejas para futuros y actuales profesionales de la salud. Este centro se destaca por su infraestructura tecnológica de vanguardia en Latinoamérica, preparando a los estudiantes con simulaciones de alta fidelidad antes de enfrentarse a situaciones reales de atención médica (Universidad del Rosario, 2023).

En la tabla 2, se observa el resumen de la caracterización de los pilares de la industria 4.0 en Colombia.

Tabla 2

Caracterización de los pilares de la industria 4.0 en Colombia

Pilar I4.0	Caracterización en Colombia	Referencias
Fabricación aditiva	<p>La fabricación aditiva ha evolucionado de ser una herramienta para prototipos a convertirse en un método de producción en serie en Colombia.</p> <p>Aumento en la adopción de la impresión 3D en sectores aeroespacial, automotriz, salud, construcción, joyería e industria textil.</p> <p>Reducción del 30% en tiempos de producción y del 10% en el costo de producción.</p> <p>Este pilar aún está en sus fases de inicio en cuanto a la utilización en grandes industrias.</p>	<p>LOGIMAT. (30 de mayo de 2023). IMPRESORAS 3D CAMBIAN MODELOS DE NEGOCIO. Obtenido de https://www.logimat.com.co/impresoras-3d-cambian-modelos-de-negocio/</p> <p>M., A. (3 de mayo de 2022). 3D NATIVES. Obtenido de ¿Cómo se está integrando la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia?: https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-sector-construccion-colombia-03052022/</p> <p>Niño-Ruiz, E. D., Noriega E., M. d., Mejía Arango, J. L., Abello Llanos, R., Allain, J. P., Montoya, J. A., Cadavid Giraldo, N. (2020). Colombia y la nueva revolución industrial. Universidad EAFIT.</p>
Realidad aumentada	<p>Uso en diversos sectores como el turismo, la educación escolar y empresarial, videojuegos, economías digitales, gobernanza descentralizada (capacidad para controlar las reglas), servicios en línea, entre otras. Un espacio donde se puede trabajar, jugar, invertir, realizar audiencias o compartir el ocio.</p> <p>Colombia fue el primer país en desarrollar una primera audiencia en el metaverso.</p> <p>Este pilar está tomando fuerza en diversas industrias colombianas.</p>	<p>AGENCIA NACIONAL DIGITAL. (24 de abril de 2023). Colombia y el Metaverso. Obtenido de https://and.gov.co/noticias/colombia-metaverso</p> <p>La República. (22 de enero de 2022). Las empresas que están aportando por la realidad aumentada y virtual en Colombia. Obtenido de https://www.larepublica.co/internet-economy/las-empresas-que-estan-aportando-por-la-realidad-aumentada-y-virtual-en-colombia-3290226</p> <p>Portafolio. (15 de enero de 2022). Realidad aumentada será tendencia en las empresas en Colombia en 2022. Obtenido de https://www.portafolio.co/tendencias/realidad-aumentada-sera-tendencia-en-las-empresas-en-colombia-en-2022-560578</p>
Robótica	<p>Interés en adopción en logística y fabricación. Implementación a gran escala posiblemente en etapa inicial, pero demasiado baja en comparación con países como Japón.</p> <p>1 robot por cada 10. 000 trabajadores en Colombia versus 400 robots por cada 10. 000 trabajadores en Japón.</p>	<p>METALMECÁNICA. (9 de marzo de 2023). ¿Cuál es el panorama de la implementación de los robots en Colombia? Obtenido de https://www.metalmecanica.com/es/noticias/en-colombia-hay-menos-de-un-robot-industrial-por-cada-10000-trabajadores</p> <p>Robotika S. A. S. (s. f.). Nosotros. Obtenido de https://robotika.com.co/nosotros/</p>
Big data	<p>Según el IMA, en Colombia hay un déficit en big data con una puntuación de 46,1 sobre 100, a diferencia de otros países en Latinoamérica que tienen un puntaje promedio de 49,7.</p> <p>Avance en uso en comercio electrónico, sector financiero sector gobierno. Desarrollo de capacidades de análisis de datos.</p>	<p>La nota económica. (8 de mayo de 2023). Colombia tiene un déficit en big data ¿cómo lo está afrontando? Obtenido de https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-tiene-un-deficit-en-big-data-como-lo-esta-afrontando/</p>

Computación en la nube	<p>“La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (Andi) demostró que 72% de las empresas conocen y utilizan la tecnología de la nube. Pero las barreras que enfrentan en su transformación digital pueden ser considerables”.</p> <p>Colombia destaca como una de las naciones con avances más veloces en la adopción de nube.</p>	<p>Bohórquez, K., & Montes, S. (11 de octubre de 2022). Colombia Forbes. Obtenido de El futuro está en la nube: estas son las perspectivas de Colombia para una industria clave: https://forbes.co/2022/10/11/genios-digitales-2022/el-futuro-esta-en-la-nube-estas-son-las-perspectivas-de-colombia-para-una-industria-clave</p> <p>La República. (26 de diciembre de 2022). La inversión en computación en la nube crecerá hasta 45% en América Latina en 2023. Obtenido de https://www.larepublica.co/empresas/en-2023-la-inversion-en-computacion-en-la-nube-crecera-hasta-45-en-latinoamerica-google-cloud-3515878</p>
Seguridad cibernética	<p>Durante el 2022, las denuncias en Colombia por Ciberdelitos crecieron un 26%, cada ocho minutos se registró una nueva denuncia en nuestro País, por infracciones a la ley 1273/2009.</p> <p>En Colombia, el modelo de gobernanza en ciberseguridad se aplica a través de la Estrategia Nacional de Ciberseguridad (ENC), que es liderada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC).</p> <p>Según el reporte de la National Cyber Security Index (NCSI), Colombia ocupa el puesto 65 en el ranking global que mide el nivel de seguridad cibernética de un país.</p>	<p>Bautista García, F., Mesa Guzmán, L., & Blanco, L. F. (2023). IA PARA LA PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN DE AMENAZAS. Obtenido de https://www.ccit.org.co/wp-content/uploads/estudio-anual-de-ciberseguridad.pdf</p> <p>Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones. (16 de noviembre de 2022). Colombia en el puesto 65 del ranking global de seguridad cibernética. Obtenido de https://www.ccit.org.co/articulos-tictac/colombia-en-el-puesto-65-del-ranking-global-de-seguridad-cibernetica/</p>
Integración de sistemas horizontales y verticales	<p>Variación en la adopción según industrias. Algunos sectores más avanzados en integración de sistemas que otros.</p> <p>Alrededor del 45% de las empresas, están implementando tecnologías relacionadas con este pilar.</p>	<p>Álvarez Acevedo, K. A. (2022). ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS 4.0 EN LAS GRANDES EMPRESAS DE PEREIRA. Obtenido de https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/12471/1/DDMAE187.pdf</p>
El internet de las cosas	<p>Presente en sectores como agricultura, salud y energía. Necesidad de inversiones adicionales en infraestructura y tecnología.</p> <p>Se proyecta que el 47% de las empresas implementen IoT en 2023.</p>	<p>GEINSYS. (24 de Junio de 2021). Internet de las cosas en Colombia, una OPORTUNIDAD para crecer. Obtenido de https://blog.geinsys.com/internet-de-las-cosas-en-colombia-una-oportunidad-para-crecer/</p> <p>La Nota Económica. (s. f.). Para el 2023 se estima que el 47% de las empresas en Latinoamérica cuenten con IoT ¿Colombia está preparada? Obtenido de https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/para-el-2023-se-estima-que-el-47-de-las-empresas-en-latinoamerica-cuenten-con-iot-colombia-esta-preparada-2/</p>
Simulación	<p>En desarrollo, especialmente en ingeniería y fabricación. La adopción puede depender de la disponibilidad de herramientas y recursos, se viene desarrollando principalmente en el sector de la salud, la educación académica y empresarial y la aeronáutica.</p>	<p>AEROERMO. (2021). <i>Con diecisiete simuladores de vuelo certificados y nueve aeronaves producidas en Colombia, la Aeronáutica Civil presenta en F-AIR CONNECTION 2021 los resultados del apoyo a la industria aeronáutica.</i> Obtenido de https://www.aeroermo.com/home/con-diecisiete-simuladores-de-vuelo-certificados-y-nueve-aeronaves-producidas-en-colombia-la-aeronautica-civil-presenta-en-f-air-connection-2021-los-resultados-del-apoyo-a-la-industria-aeronautica/</p>

CICCE. (28 de marzo de 2017). *Conozca las siete grandes ventajas de trabajar en un simulador de gestión empresarial con tecnología SAP*. Obtenido de <https://www.cicce.edu.co/blog-cicce/conozca-las-7-grandes-ventajas-de-trabajar-en-un-simulador-de-gestion-empresarial-con-tecnologia-sap/>

La República. (6 de agosto de 2023). *WayGroup crea simulador de realidad virtual para la prevención de accidentes viales*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/waygroup-crea-simulador-de-realidad-virtual-para-la-prevencion-de-accidentes-viales-3673675>

Universidad del Rosario. (1 de febrero de 2023). *Cirujanos y estudiantes de medicina y ciencias de la salud se entrenan en simuladores de alta tecnología para garantizar la seguridad de los pacientes*. Obtenido de <https://urosario.edu.co/periodico-nova-et-vetera/nuestra-u/cirujanos-y-estudiantes-de-medicina-y-ciencias-de-la-salud-se-entrenan-en-simuladores>

En la tabla 3 se califica el nivel de desarrollo o disponibilidad de los pilares de la industria 4.0 en Colombia y su impacto económico en las empresas considerando tres factores: reducción de los costos de producción, reducción de los tiempos de producción y reducción de los riesgos a los que se exponen los trabajadores. Para ello se utiliza una escala de 1 a 5 (1 bajo - 2 medio bajo - 3 medio - 4 medio alto - 5 alto). Esta calificación se realiza teniendo en cuenta la literatura consultada para la caracterización de cada uno de los pilares.

Tabla 3

Nivel de desarrollo/disponibilidad de los pilares de la industria 4.0 en Colombia.

PILAR DE LA INDUSTRIA 4.0	Escala: (1 bajo - 2 medio bajo - 3 medio - 4 medio alto - 5 alto)			
	NIVEL DESARROLLO EN COLOMBIA	IMPACTO ECONÓMICO EN LAS EMPRESAS COLOMBIANAS		
		REDUCCIÓN DE RIESGOS LABORALES PARA TRABAJADORES	REDUCCIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	REDUCCIÓN DE TIEMPO DE PRODUCCIÓN
Big data	3	3	3	4
Computación en la nube	4	1	2	2
Fabricación aditiva	3	4	3	5
Integración de sistemas horizontales y verticales	2	2	2	3
El internet de las cosas	3	3	3	4
Realidad aumentada	4	4	3	4
Robots autónomos	1	3	4	5
Seguridad cibernética	4	1	2	2
Simulación	3	4	3	4
Promedio	3,0	2,8	2,8	3,7

Análisis de la caracterización. La caracterización de los pilares de la industria 4.0 en Colombia revela una realidad mixta en cuanto a la adopción de tecnologías avanzadas. Si bien hay avances significativos en el uso de IA en las operaciones comerciales, con aproximadamente una de cada cuatro empresas reportando su implementación, existe una brecha considerable en la adopción de otras tecnologías como la fabricación aditiva, la realidad aumentada y la robótica. Esta disparidad se atribuye principalmente a barreras como limitaciones presupuestarias, falta de conocimiento y resistencia al cambio por parte de las empresas.

Por otro lado, la computación en la nube muestra un crecimiento notable en su adopción, con empresas que ya no solo almacenan información en la nube, sino que también replican procesos

estratégicos en esta plataforma, lo que implica una verdadera transformación digital en curso. Sin embargo, la seguridad cibernética emerge como un desafío crítico en este panorama, con un aumento significativo en los ciberdelitos y sectores clave como el industrial, gubernamental, educativo y de salud siendo los más afectados.

A pesar de estos desafíos, el potencial del IoT para mejorar la eficiencia en sectores como el transporte y la agricultura se vislumbra claramente. Sin embargo, persisten problemas de conectividad, especialmente en las zonas rurales, lo que limita su adopción y pleno aprovechamiento. Estos hallazgos subrayan la necesidad de políticas y acciones específicas para fomentar la adopción tecnológica, fortalecer la ciberseguridad y mejorar la infraestructura de conectividad en Colombia, con el fin de avanzar hacia una verdadera transformación digital que impulse la competitividad y el desarrollo sostenible e integral del país.

Colombia está realizando esfuerzos significativos para abrazar la revolución industrial 4.0, enfrentando desafíos como la brecha en la adopción de tecnologías avanzadas y la necesidad de superar barreras presupuestarias y culturales. La colaboración entre el sector público y privado, junto con un enfoque en la formación de talento especializado, será esencial para avanzar hacia una adopción más generalizada de las tecnologías 4.0 en el país.

5.1.2. Necesidades tecnológicas empresariales a nivel país

Para establecer las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país, es indispensable definir parámetros de selección que orienten la identificación de sectores y empresas clave. A continuación, se presentan los parámetros definidos.

Parámetros de selección:

- Para la selección de sectores, se considera la tasa de crecimiento anual y trienal del PIB por sectores a precios constantes en Colombia para el tercer trimestre de 2023.
- Para la selección de empresas, se considera la ubicación geográfica de acuerdo con el índice de competitividad de ciudades para 2023.
- De acuerdo con los sectores y la facilidad de contactar a las empresas, se define un muestreo por conveniencia para la aplicación de entrevistas estructuradas, considerando empresas de diferentes tamaños.

Sectores seleccionados: Se realiza la consulta de la tasa de crecimiento anual y trienal del PIB por sectores a precios constantes en Colombia para el tercer trimestre de 2023 y los cinco sectores con mayor porcentaje son:

- (20,73%) Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida.
- (16,16%) Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Educación; Actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales.
- (12,43%) Industrias manufactureras.
- (9,32%) Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.
- (8,07%) Actividades inmobiliarias (Cámara de comercio de Bogotá, 2023).

Ciudades seleccionadas: El ICC 2023 es liderado por Bogotá DC con un puntaje de 7,96 sobre 10, seguido por Medellín AM (7,16); Tunja (6,47); Cali A. (6,42) y Bucaramanga AM (6,31) (Consejo Privado de Competitividad, 2023).

Empresas seleccionadas: Para seleccionar la empresa y el sector al que pertenece y asociarla a cada ciudad, se hizo uso de la red de contactos empresariales personales y se completó con una búsqueda en directorios web para establecer contacto con las empresas en las ciudades elegidas que hicieran falta. De esta manera, los sectores, ciudades y empresas seleccionadas para las entrevistas, quedaron con la siguiente distribución:

Tabla 4

Distribución de empresas por ciudades y sectores

SECTOR	CIUDAD
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida.	Tunja
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Educación; Actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales.	Cali
Industrias manufactureras	Medellín
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.	Bucaramanga
Actividades inmobiliarias.	Bogotá

Instrumento de caracterización: La entrevista ha sido diseñada en la herramienta KoboToolbox y se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://bit.ly/ENTREVISTA-I-4-0> y en el anexo 1: [Instrumento de caracterización \(entrevista\)](#).

Validación del instrumento: El instrumento ha sido validado antes de su aplicación con profesores de la Universidad de Antioquia pertenecientes a grupos de investigación a través de las siguientes preguntas, las cuales permitieron realizar algunos ajustes de forma.

¿Presenta un texto introductorio con el propósito, agradece la colaboración y las instrucciones son precisas para el diligenciamiento?

¿El hilo conductor está claramente definido?

¿Se puede desarrollar a completitud sin apoyo de los investigadores en caso de que fuese enviado vía correo electrónico?

¿Las Partes en las que se estructura el instrumento son pertinentes para el objetivo planteado?

¿El contenido tiene el alcance suficiente para las Fases I de la investigación?

¿El tiempo de diligenciamiento es adecuado para el público objetivo?

¿La interfaz gráfica del instrumento, tipo de preguntas y estructura es adecuada?

La validación del instrumento se hizo también a través de la herramienta kobotoolbox, disponible en el enlace: <https://ee.kobotoolbox.org/x/Z2eZfzCX>.

Consentimiento informado: Se socializó con las partes interesadas el consentimiento informado para el manejo de la información recolectada, el cual se relaciona en el anexo 2: [Formato de consentimiento informado de participación en entrevista | industria 4.0.](#)

Aplicación de la entrevista: Se procura realizar entrevistas con múltiples partes interesadas dentro de la empresa, como gerentes, líderes tecnológicos, gerentes de operaciones y personal de TI de acuerdo con el tamaño de la empresa seleccionada así:

Microempresa: Gerente

Pequeña empresa: Gerente

Mediana empresa: Gerente

Grande empresa: Gerente, área TI y procesos

Se concretan entrevistas virtuales para todas las empresas seleccionadas, de las cuales el 60% fueron sesiones sincrónicas y el 40% acompañamiento remoto para resolución de dudas mientras diligenciaban el instrumento.

Resultados del instrumento de caracterización: Se realizó entrevistas a personas de grandes empresas, pero también de pequeña empresa y microempresa.

Tabla 5

Generalidades de las empresas entrevistadas

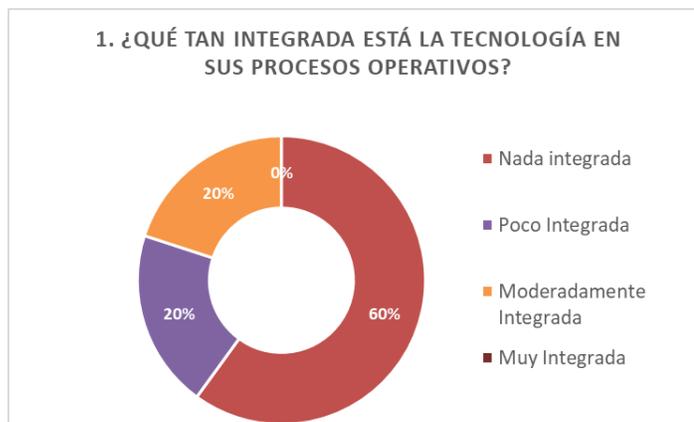
Sector Económico	Tamaño de la Empresa	Principales Productos o Servicios	Años de Operación	Ciudad de la sede principal
Industrias manufactureras	Grande empresa: personal superior a 250 colaboradores	Jeans y camisetas	51	Medellín
Actividades inmobiliarias	Grande empresa: personal superior a 250 colaboradores	Espacios de trabajo	3	Bogotá
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Educación; Actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales.	Grande empresa: personal superior a 250 colaboradores	Educación superior	53	Cali
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida	Pequeña empresa: personal entre 11 y 50 colaboradores	Cemento Alion UG y ART, Cemento Blanco, productos Mapei y Bronco	4	Tunja
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.	Microempresa: personal no superior a 10 colaboradores	Madera, cacao y miel	4	Bucaramanga

Parte 1 de los resultados de las entrevistas

En esta primera parte se aborda el tema de la tecnología en general dentro de la compañía y cómo esta se relaciona con los diferentes procesos.

Figura 4

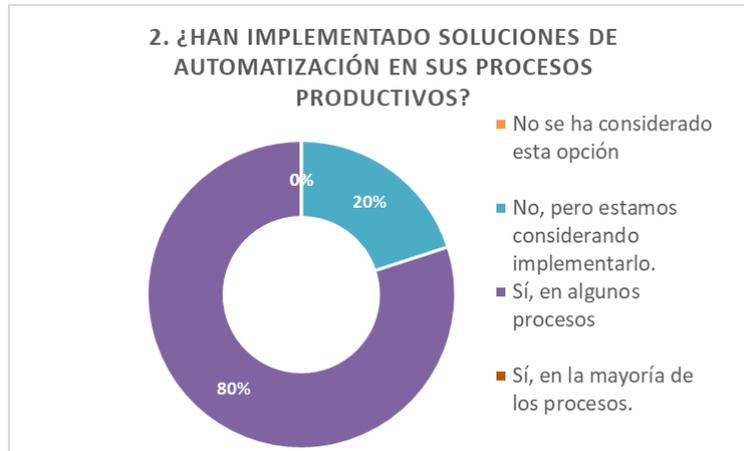
Resultados ¿Qué tan integrada está la tecnología en sus procesos operativos?



Para la primera pregunta se encontró que el 60% de las empresas, tienen moderadamente integrada la tecnología en sus procesos operativos, el 20% muy integrada y el otro 20% poco integrada.

Figura 5

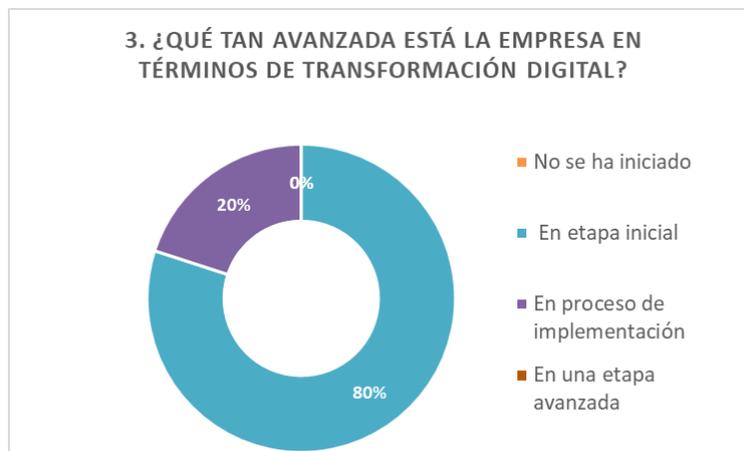
Resultados ¿Han implementado soluciones de automatización en sus procesos productivos?



En cuanto a la implementación de soluciones de automatización, se tiene que el 80% lo ha implementado en algunos procesos de la compañía y un 30% no lo ha implementado, pero está considerando implementarlo.

Figura 6

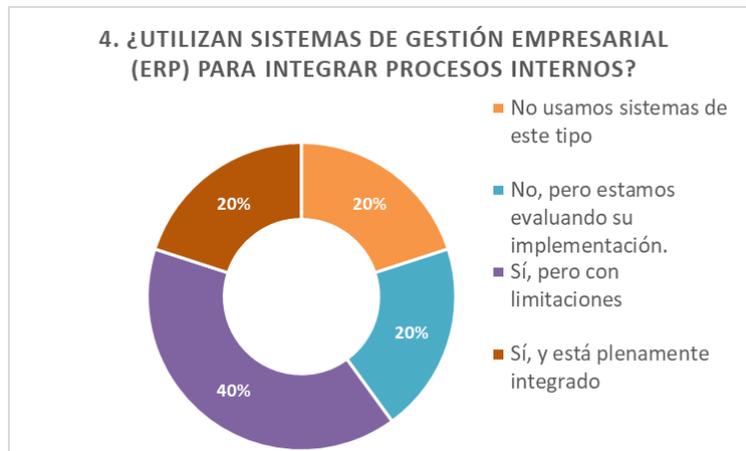
Resultados ¿Qué tan avanzada está la empresa en términos de transformación digital?



Sobre la pregunta ¿Qué tan avanzada está la empresa en términos de transformación digital?, el 80% de las compañías se encuentran en etapa inicial y el 20% en proceso de implementación.

Figura 7

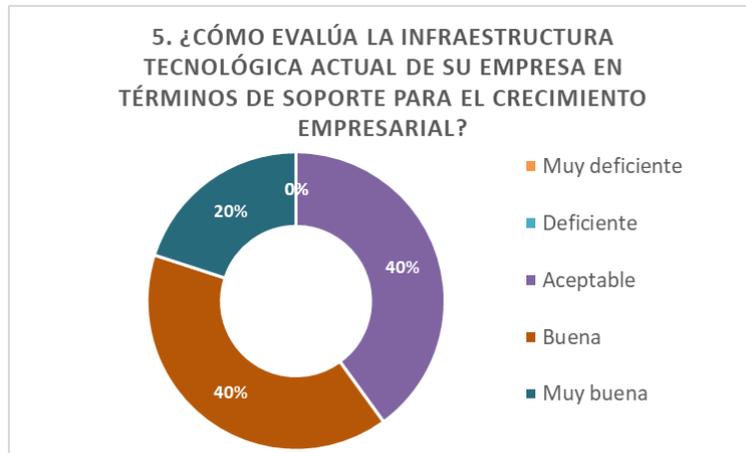
Resultados ¿Utilizan sistemas de gestión empresarial (ERP) para integrar procesos internos?



En cuanto a los sistemas de gestión empresarial (ERP), para integrar procesos internos, se tienen divididas las opiniones, ya que el 40% los utilizan, pero con limitaciones, un 20% lo utiliza y está plenamente integrado, otro 20% no lo utiliza, pero está evaluando su implementación y el otro 20% no usa sistemas de este tipo dentro de sus procesos.

Figura 8

Resultados ¿Cómo evalúa la infraestructura tecnológica actual de su empresa en términos de soporte para el crecimiento empresarial?



Evaluando la infraestructura tecnológica actual de las empresas en términos de soporte para su crecimiento, se tiene que el 40% es aceptable, otro 40% es buena y el 20% restante califica la infraestructura como muy buena.

Figura 9

Resultados ¿Qué obstáculos o limitaciones se han encontrado para la adopción de nuevas tecnologías en la empresa?

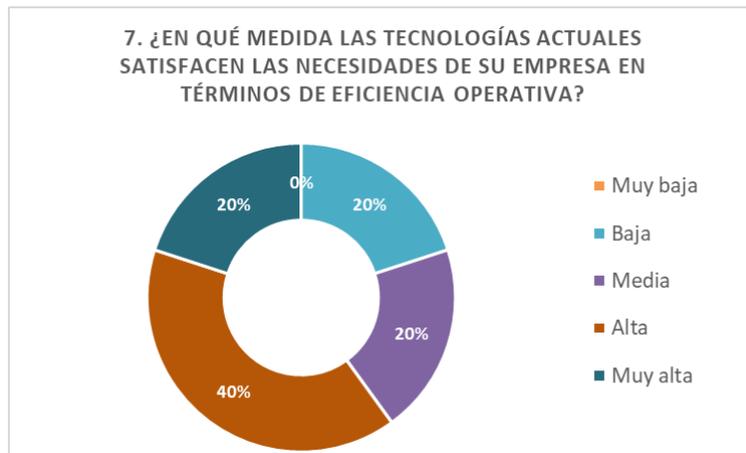


Al preguntar por los obstáculos o limitaciones que se han encontrado para la adopción de nuevas tecnologías en sus empresas, las opciones con mayores respuestas fueron: la integración

con sistemas existentes, resistencia al cambio con igual repeticiones que la falta de recursos financieros y en tercer lugar la falta de conocimiento técnico. Ninguno de los entrevistados consideró la complejidad de la tecnología como una limitación.

Figura 10

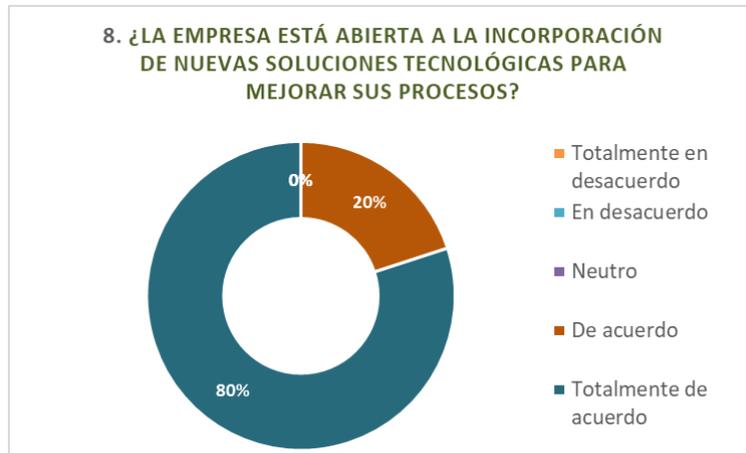
Resultados ¿En qué medida las tecnologías actuales satisfacen las necesidades de su empresa en términos de eficiencia operativa?



Para la pregunta ¿En qué medida las tecnologías actuales satisfacen las necesidades de su empresa en términos de eficiencia operativa?, se tiene un 40% de satisfacción alta, 20% de satisfacción muy alta, otro 20% de satisfacción media y el último 20% con satisfacción baja.

Figura 11

Resultados ¿La empresa está abierta a la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar sus procesos?



En cuanto a si la empresa está abierta a la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar sus procesos, el 80% está totalmente de acuerdo y el 20% está de acuerdo.

Figura 12

Resultados ¿Cuáles considera que son las principales áreas donde la empresa podría beneficiarse de mejoras tecnológicas?

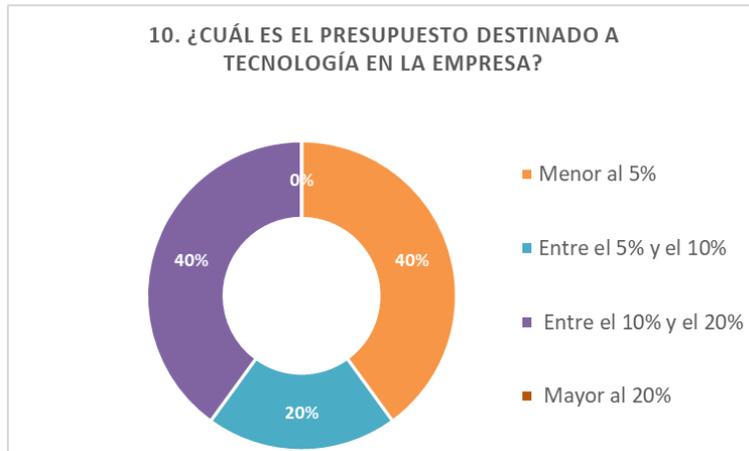


Para la pregunta: ¿Cuáles considera que son las principales áreas donde la empresa podría beneficiarse de las mejoras tecnológicas?, tres de cinco empresas eligieron: calidad y mejoramiento

continuo, analítica y estadística, procesos productivos y logística. Dos de cinco empresas eligieron gestión por proyectos, modelación y simulación, gestión del talento humano y administración. Una de las empresas agregó otra área que llamó transferencia, refiriéndose a todo el desarrollo de plataformas web. Ninguno de los entrevistados consideró que el área de finanzas podría beneficiarse de mejoras tecnológicas.

Figura 13

Resultados ¿Cuál es el presupuesto destinado a tecnología en la empresa?



Finalmente, para esta primera parte se preguntó por el porcentaje del presupuesto destinado a la tecnología de la empresa, para lo cual un 40% de las empresas destinan menos del 5% del presupuesto general de la compañía, otro 40% destina entre el 10% y el 20% y el 20% restante, destina menos del 5% del presupuesto general para la tecnología.

En este punto, se realiza el comparativo entre el presupuesto destinado a tecnología en la empresa y la primera pregunta que aborda el nivel de integración de la tecnología en los procesos operativos de la empresa, se obtiene que las empresas que destinan menos del 5% del presupuesto en tecnología y las que tienen un rango entre 5% y 10%, cuentan con una integración moderadamente integrada, mientras que las que tienen un presupuesto entre el 10% y el 20%, dividen su nivel de integración entre muy integrada que es lo que se esperaría, y poco integrada que llama la atención por ser un resultado no esperado y que podría ser un punto por explorar dentro de las compañías acerca de la optimización de recursos económicos para las mejoras tecnológicas requeridas en sus procesos productivos.

Figura 14

Resultados Presupuesto para tecnología vs integración de la tecnología.



Parte 2 de los resultados de las entrevistas

Esta parte aborda los pilares de la industria 4.0 dentro de las compañías, evalúa el nivel de aplicación de cada uno de ellos dentro de las empresas y la intención de invertir en ellos desde el corto hasta el largo plazo.

Para el nivel de aplicación, se consideraron las calificaciones muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, para lo cual se obtuvo lo siguiente:

La robótica se dividió entre muy bajo con el 60% de las respuestas y alto con el 40% de estas.

La integración de sistemas horizontales y verticales estuvo repartida en cuatro de los niveles, con 20% de las respuestas en muy bajo, 40% bajo, 20% alto y 20% muy alto.

La simulación se distribuyó en todos los niveles por igual con un 20%.

El internet de las cosas se ubicó en tres niveles, 60% muy bajo, 20% bajo y 20% alto.

Big data se ubicó en dos niveles con 60% alto y 40% muy alto.

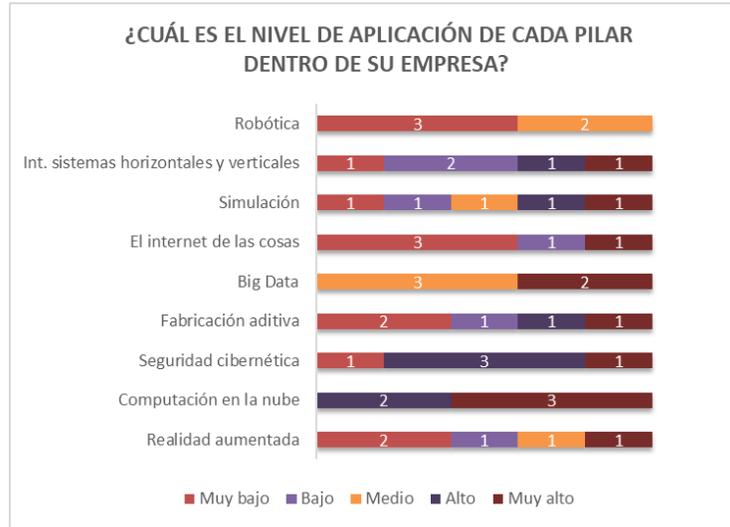
La fabricación aditiva, se ubicó en muy bajo con el 40%, bajo con el 20%, alto con otro 20% y muy alto con el otro 20%.

La seguridad cibernética se ubicó en tres niveles; muy bajo con el 20%, alto con el 20% y muy alto con el 60%.

La computación en la nube se ubicó entre alto y muy alto con el 60% y 40% respectivamente. La realidad aumentada se ubicó en 40% muy bajo, 20% bajo, 20% medio y 20% alto.

Figura 15

Resultados Nivel de implementación de los pilares.



En cuanto a la consideración de invertir en nuevas tecnologías de la industria 4.0, se obtuvo lo siguiente:

Para robótica, integración de sistemas horizontales y verticales, simulación y realidad aumentada, el 40% invertiría en el corto plazo, 40% en el largo plazo y 20% no invertiría en tecnologías de estos pilares.

Para el internet de las cosas, el 60% invertiría en el mediano plazo y el 40% en el largo plazo.

En big data, el 20% invertiría en el corto plazo, el 60% en el mediano plazo y el 20% en el largo plazo.

La fabricación aditiva fue considerada para invertir en el corto plazo por un 20% de las empresas, 40% lo consideran en el mediano plazo y el otro 40% no considera invertir en ello.

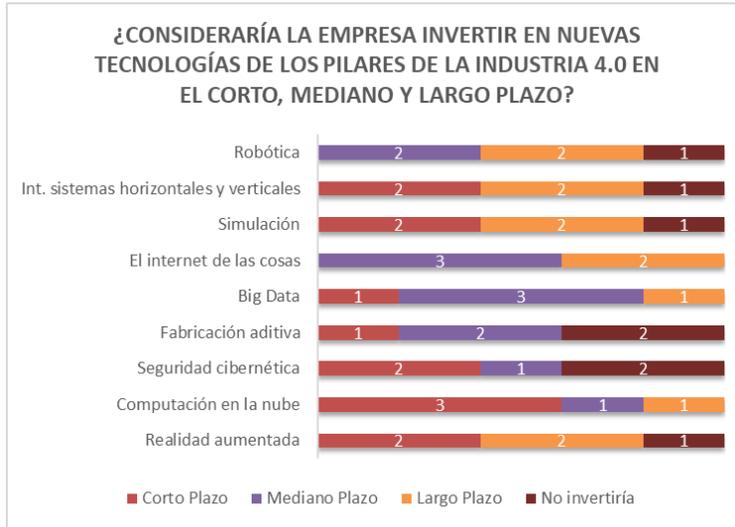
La seguridad cibernética, considera la inversión 40% en el corto plazo, 20% en el mediano plazo y 40% no invertiría.

En cuanto a computación en la nube, consideran invertir en el corto plazo con el 60%, en el mediano plazo con el 20% y en el largo plazo con el otro 20%.

Ninguno de los entrevistados descartó la posibilidad de inversión en tecnologías asociadas a los pilares de Internet de las cosas, big data y computación en la nube.

Figura 16

Resultados plazo de inversión en los pilares.



Finalmente, para la pregunta abierta “Desde su perspectiva, ¿Cuáles son las habilidades, competencias y conocimientos requeridos en los profesionales de ingeniería industrial y afines para apoyar la implementación y gestionar las nuevas tecnologías asociadas a los pilares de la industria 4.0 en su empresa?”

Los entrevistados respondieron lo siguiente: “Creo que la mayor habilidad es la de poder percibir el valor agregado en la cadena de valor. La productividad no es nada sin valor agregado. Y esta capacidad de agregar valor en la cadena, como al cliente es esencial para que la tecnología tenga un fin ulterior” (Rivera, 2024).

“Gestión de la calidad, Análisis de datos para las diferentes áreas de la compañía, Identificación de oportunidades de mejora (orden y estructura)” (Dominguez, 2024).

“Habilidades técnicas y de liderazgo para incorporar estas nuevas tecnologías en la automatización de procesos o digitalización de estos. Capacidad de aprendizaje autónomo para continuar a la vanguardia con los nuevos avances en estas tecnologías. Estar en la capacidad de implementar y administrar sistemas ciber físicos y gemelos digitales” (Serna Salazar, 2024).

“Optimización y automatización de procesos principalmente en medianas y pequeñas empresas (integración de sistemas horizontales y verticales). Desarrollar y potenciar empresas familiares” (Flórez, 2024).

“Capacidad de trabajar interdisciplinariamente, conocimiento de transmedia” (Santos, 2024).

Para ver la información tabulada y detallada de las entrevistas, acceda al anexo 3 (externo):

[Resultados entrevistas empresas.](#)

Análisis de los resultados de las entrevistas: En los datos obtenidos en las entrevistas a empresas, se ofrece una visión integral del estado actual de la tecnología dentro de las empresas colombianas y su relación con los pilares de la industria 4.0. Los hallazgos revelan que la mayoría de las empresas muestran una integración significativa de la tecnología en sus procesos operativos, sugiriendo un nivel de adopción destacado, aunque con espacio para mejoras adicionales. Además, se evidencia una tendencia hacia la implementación de soluciones de automatización y un interés creciente en la transformación digital, aunque muchas empresas aún se encuentran en etapas iniciales en este aspecto. En cuanto a los sistemas de gestión empresarial y la infraestructura tecnológica, se observa una variedad de niveles de adopción, lo que subraya la necesidad de evaluar y mejorar la capacidad tecnológica en diferentes áreas. Sin embargo, es intrigante notar que el área de finanzas no ha sido considerada como beneficiaria potencial de mejoras tecnológicas, esta situación plantea interrogantes sobre si existe una falta de conocimiento sobre las herramientas tecnológicas disponibles o si hay una resistencia cultural hacia la adopción de soluciones tecnológicas en este ámbito. Investigar más a fondo estas razones podría arrojar luz sobre cómo fomentar una cultura de innovación más amplia en las empresas.

Por otro lado, se destaca una disposición generalizada de las empresas por invertir en tecnologías asociadas a la industria 4.0, con un enfoque en el corto y mediano plazo. En términos de habilidades necesarias para gestionar estas tecnologías, se resalta la importancia de competencias técnicas y blandas, incluyendo la capacidad para percibir el valor agregado en la cadena de valor y habilidades de liderazgo y aprendizaje continuo.

Por otro lado, la habilidad para percibir el valor agregado en la cadena de valor emerge como un aspecto fundamental para los profesionales de ingeniería industrial y afines en el contexto de la industria 4.0. Esta capacidad no solo implica mejorar la productividad, sino también entender cómo la tecnología puede agregar valor tanto para la empresa como para el cliente final, lo que es

esencial para el éxito en la implementación de nuevas tecnologías. Complementario a las habilidades técnicas necesarias para incorporar y administrar nuevas tecnologías, se destaca la importancia de competencias como la gestión de la calidad, el análisis de datos y el mejoramiento continuo. Se resaltan habilidades blandas como liderazgo y aprender a aprender, solicitadas por los líderes de empresas hacia los ingenieros industriales de acuerdo con los aportes de los entrevistados. Estas habilidades son cruciales para garantizar que la implementación de tecnologías asociadas a la industria 4.0 sea efectiva y genere resultados tangibles en términos de eficiencia y competitividad empresarial.

5.1.3. Caracterización de Learning Factory en los perfiles de formación en contextos empresariales del país.

La caracterización del perfil y las competencias del ingeniero industrial en el contexto nacional es un proceso fundamental para alinear la formación académica con las demandas del entorno laboral. La matriz comparativa proporciona una visión integral que facilita la toma de decisiones para la mejora continua de los programas académicos y la adaptación a las necesidades cambiantes de la industria.

Definir las características de revisión: Para caracterizar el perfil del ingeniero industrial en el contexto nacional, se ha procedido a identificar y definir las características fundamentales que deben ser revisadas. Se ha recurrido a los referentes proporcionados por REDIN para enriquecer la matriz comparativa. REDIN ofrece estándares reconocidos en el ámbito de la ingeniería industrial, permitiendo alinear las competencias identificadas con prácticas y tendencias internacionales. Se han definido 18 competencias clasificadas en tres variables: formación en el campo disciplinar con ocho competencias, complementos técnicos con seis competencias y habilidades personales con cuatro competencias.

Una vez definidas las competencias para evaluar, se toma como referente La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) para incluir universidades tanto públicas como privadas de acuerdo con los nodos definidos por esta y los miembros de cada uno de ellos, los cuales se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Cantidad de IES por nodo según ACOFI

NODOS ACOFI	TIPO DE IES		Total de IES por nodo
	Privada	Pública	
Nodo Antioquia	17	5	22
Nodo Caribe	12	4	16
Nodo centro	12	2	14
Nodo Santanderes	4	3	7
Nodo Suroccidente	7	1	8
Total de IES	52	15	67

Para definir el tamaño de la muestra, se tuvo en cuenta dos condiciones:

La muestra debe contener una proporción igual entre universidades públicas y universidades privadas.

El porcentaje definido debe incluir instituciones de los cinco nodos para garantizar una cobertura nacional.

Considerando estas condiciones, se evaluó el porcentaje que representa cada nodo con respecto al total de instituciones pertenecientes a ACOFI y se definió un porcentaje similar, calculado para cada nodo así:

Tabla 7

Tamaño de muestra por nodo

NODOS ACOFI	TIPO DE IES		Total IES/ Nodo	% nodo con respecto al total de IES	Tamaño de muestra		Total muestra	% muestreo
	Privada	Pública			Privada	Pública		
Nodo Antioquia	17	5	22	33%	3	3	6	27%
Nodo Caribe	12	4	16	24%	2	2	4	25%
Nodo centro	12	2	14	21%	2	2	4	29%
Nodo Santanderes	4	3	7	10%	1	1	2	29%
Nodo Suroccidente	7	1	8	12%	1	1	2	25%
Total IES	52	15	67		9	9	18	26,9%

Las 18 instituciones seleccionadas (9 públicas y 9 privadas), fueron definidas principalmente por la facilidad de acceso a la información en sus páginas con respecto a la malla curricular, la misión o plan de formación, líneas de énfasis y perfiles de egreso y laboral.

Construir la matriz comparativa: Se ha elaborado una matriz comparativa que servirá como herramienta visual para contrastar las competencias identificadas en la etapa anterior. La matriz permitirá una evaluación sistemática de los perfiles de ingenieros industriales y disciplinas afines, facilitando la identificación de brechas y fortalezas.

La matriz reunirá los resultados generales de cada una de las competencias evaluadas en las 18 instituciones, calificando cada institución evaluada con cero (0) cuando no se evidencia la aparición de la competencia dentro de la malla curricular, la misión o plan de formación, líneas de énfasis o perfiles de egreso y laboral y se califica con uno (1) cuando se evidencia la aparición de la competencia dentro de la información disponible para el programa de ingeniería industrial.

Tabla 8

Matriz comparativa de perfiles de formación de I.I.

Variable de evaluación	Puntaje total de inclusión de las competencias	% Inclusión de las competencias en el programa	% de participación por competencias
Formación en el campo disciplinar			
Procesos productivos y logística			
Administración			
Gestión del talento humano			
Finanzas			
Analítica y estadística			
Modelación y simulación			
Gestión por proyectos			
Calidad y mejoramiento continuo			
Complementos Técnicos			
Habilidades TIC			
Transformación digital			
Habilidades en análisis de datos para la toma de decisiones			
Habilidades para el emprendimiento y la innovación			
Habilidades Personales			
Habilidades de adaptabilidad y aprendizaje continuo			
Capacidad para trabajar en entornos interdisciplinarios			
Habilidades de resolución de problemas complejos - pensamiento crítico			
Trabajo colaborativo			
Ética y responsabilidad social			
Comunicación asertiva			
TOTAL			

Diligenciar la matriz comparativa: La matriz comparativa ha sido diligenciada con información consultada en las páginas web de las universidades. Se ha evaluado cada una de las competencias definidas para el programa de ingeniería industrial en 18 universidades y se ha asignado los valores correspondientes a la inclusión o no de las competencias en el programa.

El total de universidades que incluyen cada competencia dentro del programa se muestra en la columna “Puntaje total de inclusión de las competencias” de la tabla 9. La columna “% Inclusión de las competencias en el programa” representa el porcentaje de universidades que incluyen cada competencia dentro del programa y la columna “% de participación por competencias” representa la participación real que tiene cada competencia evaluada con respecto al puntaje total de cada variable, así mismo, muestra la participación de cada variable con respecto al puntaje total.

Tabla 9

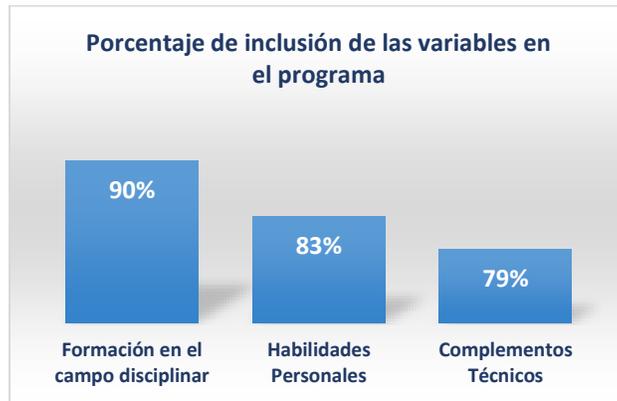
Matriz comparativa de perfiles de formación de I.I. diligenciada.

Variable de evaluación	Puntaje total de inclusión de las competencias	% Inclusión de las competencias en el programa	% de participación por competencias
Formación en el campo disciplinar	130	90%	47%
Procesos productivos y logística	17	94%	13%
Administración	16	89%	12%
Gestión del talento humano	15	83%	12%
Finanzas	18	100%	14%
Analítica y estadística	18	100%	14%
Modelación y simulación	16	89%	12%
Gestión por proyectos	12	67%	9%
Calidad y mejoramiento continuo	18	100%	14%
Complementos Técnicos	57	79%	21%
Habilidades TIC	15	83%	26%
Transformación digital	9	50%	16%
Habilidades en análisis de datos para la toma de decisiones	16	89%	28%
Habilidades para el emprendimiento y la innovación	17	94%	30%
Habilidades Personales	90	83%	32%
Habilidades de adaptabilidad y aprendizaje continuo	16	89%	18%
Capacidad para trabajar en entornos interdisciplinarios	16	89%	18%
Habilidades de resolución de problemas complejos - pensamiento crítico	15	83%	17%
Trabajo colaborativo	15	83%	17%
Ética y responsabilidad social	17	94%	19%
Comunicación asertiva	11	61%	12%
TOTAL	277		

Análisis de los resultados de evaluación de los perfiles de formación: Teniendo en cuenta las tres variables de evaluación del programa de ingeniería industrial y las competencias que abarca, se tiene lo siguiente:

Figura 17

Porcentaje de inclusión de las variables en el programa.

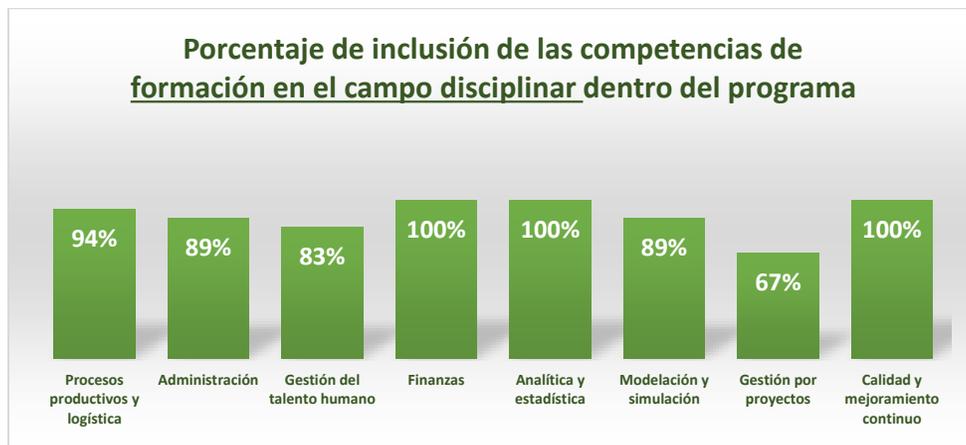


En la figura 17, se evidencia que la variable "formación del campo disciplinar", que engloba ocho competencias, ha alcanzado un promedio de inclusión del 90% en los programas de formación de las universidades evaluadas. Las "Habilidades personales" con cuatro competencias evaluadas, muestra una inclusión del 83% en los programas de formación y los "complementos técnicos" con seis competencias evaluadas, muestra una inclusión del 79% en los programas.

En las siguientes figuras se detalla el porcentaje de inclusión de cada una de las competencias evaluadas para cada variable:

Figura 18

Porcentaje de inclusión de las competencias de formación en el campo disciplinar dentro del programa.



En la figura 18 se observa que las competencias de finanzas, analítica y estadística, calidad y mejoramiento continuo son puntos destacados en el programa. La inclusión del 100% en estas áreas sugiere un enfoque integral en aspectos financieros, análisis de datos y gestión de calidad. Mientras que la competencia de gestión por proyectos puede representar un valor agregado para las universidades que la incluyen dentro de su programa de formación. Así mismo, la gestión del talento humano, la administración, la modelación y simulación y los procesos productivos y logística, son competencias que pueden representar una oportunidad de mejora para incrementar las posibilidades de los ingenieros industriales para cubrir las necesidades del mercado laboral.

Se evaluó el porcentaje de participación de las competencias con respecto al puntaje obtenido en la variable:

Figura 19

Porcentaje de participación de las competencias de formación en el campo disciplinar.



En la figura 19, puede apreciarse que la formación en el campo disciplinar de los programas de ingeniería industrial evaluados, está principalmente conformada por las competencias relacionadas con analítica y estadística, calidad y mejoramiento continuo y finanzas, representando cada una el 14%, sin embargo, con porcentajes muy cercanos se encuentra el resto de las competencias con el 12% y 13%, exceptuando la gestión por proyectos que participa con el 9% en la formación en el campo disciplinar.

Para la competencia de calidad y mejoramiento continuo se consideró cursos como: Gestión de la calidad, ingeniería del mejoramiento continuo, gestión de procesos, ingeniería del producto y del proceso, entre otras relacionadas.

Para la competencia de gestión del talento humano se consideró cursos como: gestión del talento humano y riesgos laborales, talento humano, gestión de la seguridad y salud en el trabajo, entre otros.

Figura 20

Porcentaje de inclusión de las competencias de los complementos técnicos dentro del programa.



En la figura 20, puede observarse que la inclusión alta en habilidades TIC y en habilidades para el análisis de datos señala una base sólida en competencias tecnológicas fundamentales. Sin embargo, la transformación digital muestra una inclusión más baja, lo que sugiere una oportunidad de mejora en este aspecto clave que puede representar una brecha dado el actual contexto de avance tecnológico y la demanda creciente de empresas por adaptarse a esta transformación.

Para evaluar los complementos técnicos se consideraron cursos como los que se relacionan a continuación:

Habilidades TIC: programación y desarrollo de software, sistemas de información, informática, tecnologías inteligentes, etc.

Transformación digital: Inteligencia artificial, automatización.

Habilidades en análisis de datos para la toma de decisiones: optimización, muestreo y series de tiempo, gestión de métodos y tiempos, diseño de experimentos, etc.

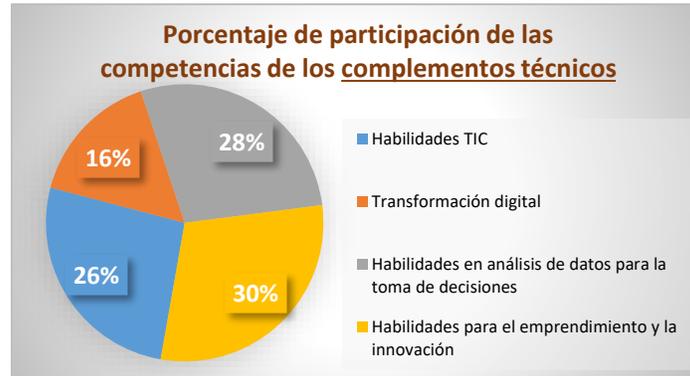
Habilidades para el emprendimiento y la innovación: específicamente emprendimiento e innovación como palabras dentro del nombre del curso.

La alta inclusión en habilidades para el emprendimiento y la innovación es un punto destacado. Estas competencias son cruciales para la evolución empresarial en un mundo

tecnológico en constante cambio, permitiendo la generación de nuevas ideas, soluciones innovadoras y la identificación de oportunidades en el mercado.

Figura 21

Porcentaje de participación de las competencias de los complementos técnicos.



El porcentaje de participación de las competencias para los complementos técnicos, representado en la figura 21, muestra que las habilidades para el emprendimiento y la innovación son las que representan mayor participación con un 30%, seguido de las habilidades en análisis y datos para la toma de decisiones con el 28% y en menor proporción se encuentra las habilidades TIC y la transformación digital.

Figura 22

Porcentaje de inclusión de las competencias de las habilidades personales dentro del programa.



Con respecto a la figura 22, los resultados resaltan la fortaleza de ciertas habilidades personales en los ingenieros industriales, las cuales son altamente relevantes para las necesidades tecnológicas de las empresas colombianas. La alta inclusión de competencias como adaptabilidad, aprendizaje continuo, trabajo en entornos interdisciplinarios y capacidad para resolver problemas complejos indica una preparación sólida para abordar desafíos tecnológicos cambiantes.

Para evaluar estas competencias se analizó la descripción de la misión, visión, perfil de egreso y perfil laboral buscando la aparición de estas competencias. Además, se tomó en cuenta el p \acute{e} nsum para competencias puntuales como \acute{e} tica y comunicaci3n asertiva. El alto porcentaje en \acute{e} tica y responsabilidad social subraya la conciencia sobre la importancia de la conducta \acute{e} tica en el entorno laboral y la consideraci3n por el impacto social de las decisiones empresariales, lo cual es esencial en un contexto tecnol3gico en evoluci3n. Sin embargo, la baja inclusi3n en comunicaci3n asertiva podr \acute{a} se \acute{n} alar una oportunidad de mejora. Una comunicaci3n efectiva es vital en entornos tecnol3gicos, ya que facilita la colaboraci3n, la transmisi3n de ideas y la resoluci3n de problemas en equipos multidisciplinarios. Reforzar esta habilidad podr \acute{a} ser beneficioso para asegurar una interacci3n m \acute{a} s efectiva en el entorno laboral y en la implementaci3n exitosa de soluciones tecnol3gicas.

Figura 23

Porcentaje de participaci3n de las competencias de las habilidades personales.



El porcentaje de participaci3n de las competencias para las habilidades personales representado en la figura 23, muestra que tienen un porcentaje muy equilibrado, sin embargo, domina la \acute{e} tica y responsabilidad social y se muestra con un menor porcentaje la comunicaci3n

asertiva dentro de las habilidades personales descritas en los programas de formación de la ingeniería industrial.

Se evaluó también el porcentaje de participación de las variables con respecto al puntaje total obtenido en la matriz el cual se muestra en la figura 24.

Figura 24

Porcentaje de participación de las variables.



La formación en el campo disciplinar, abarcando el 47%, muestra la importancia que se le otorga a adquirir conocimientos técnicos y teóricos específicos de la ingeniería industrial. Esta área es crucial para abordar desafíos y demandas tecnológicas en empresas, ya que proporciona la base fundamental para comprender procesos, optimizar sistemas y proponer soluciones desde una perspectiva técnica.

Las habilidades personales, con un 32%, revelan el reconocimiento de competencias no técnicas pero vitales, como la capacidad de adaptación, trabajo en equipo, pensamiento crítico y ética profesional. Estas habilidades son esenciales en el contexto laboral actual, especialmente en entornos tecnológicos, donde la colaboración, la flexibilidad y la integridad ética son altamente valoradas.

Los complementos técnicos, representando el 21%, muestran una proporción menor en la formación del ingeniero industrial. Estos complementos podrían abordar conocimientos específicos adicionales que, si bien no son el foco principal, podrían ser necesarios para adaptarse a necesidades tecnológicas más especializadas dentro de ciertos sectores o contextos empresariales.

En conjunto, esta distribución muestra una base sólida en conocimientos técnicos, una valoración adecuada de habilidades personales y un espacio para la consideración de conocimientos técnicos complementarios que podrían fortalecerse para satisfacer necesidades tecnológicas más específicas dentro del entorno empresarial.

Po último, se realizó el análisis general del nivel de inclusión de las variables definidas por tipo de universidad y por nodo.

Figura 25

Porcentaje de inclusión general de las variables dentro del programa por tipo de universidad

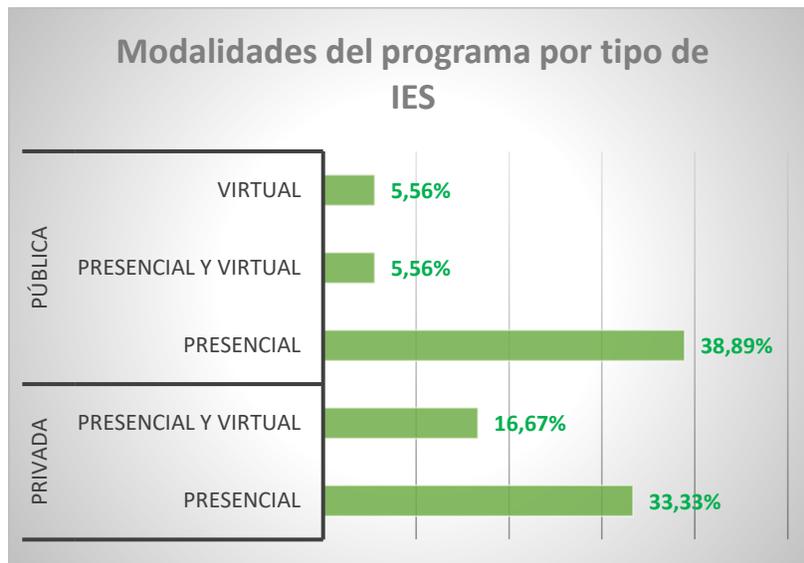


En la figura 25 puede apreciarse que hay una ligera diferencia de seis puntos porcentuales en la inclusión de las variables definidas de las universidades privadas con respecto a las universidades públicas.

Adicionalmente, se agregó la información acerca de las modalidades en las cuales se ofrece el programa de acuerdo con el tipo de institución y se obtuvo lo siguiente:

Figura 26

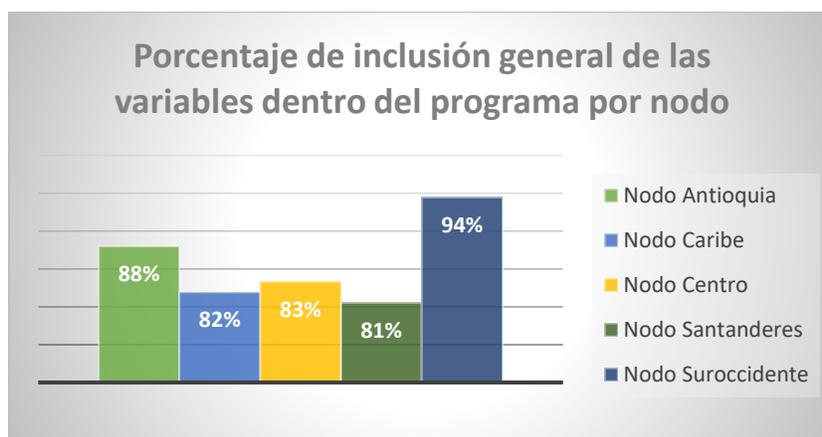
Modalidades del programa por tipo de IES.



Tanto en universidades públicas como en universidades privadas la mayoría ofrece el programa en modalidad presencial. El 11,12% de las públicas ofrecen la modalidad virtual, mientras que en las privadas este porcentaje es del 16,67%.

Figura 27

Porcentaje de inclusión general de las variables dentro del programa por nodo.

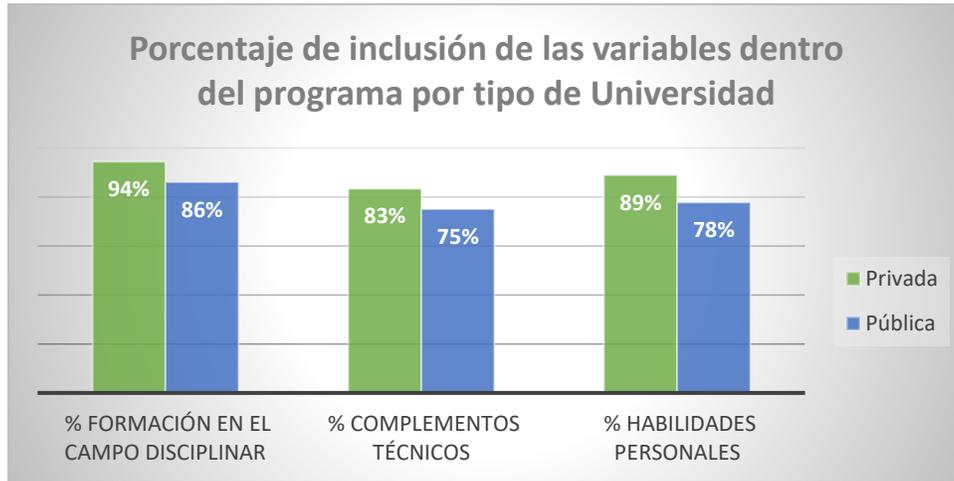


En la figura 27, se observa que las universidades pertenecientes al nodo Suroccidente cuentan con un porcentaje promedio del 94% de inclusión de las variables seleccionadas dentro del

programa de ingeniería industrial, mientras que el resto de los nodos tienen un porcentaje relativamente similar, siendo el nodo Santanderes el de menor porcentaje con el 81%.

Figura 28

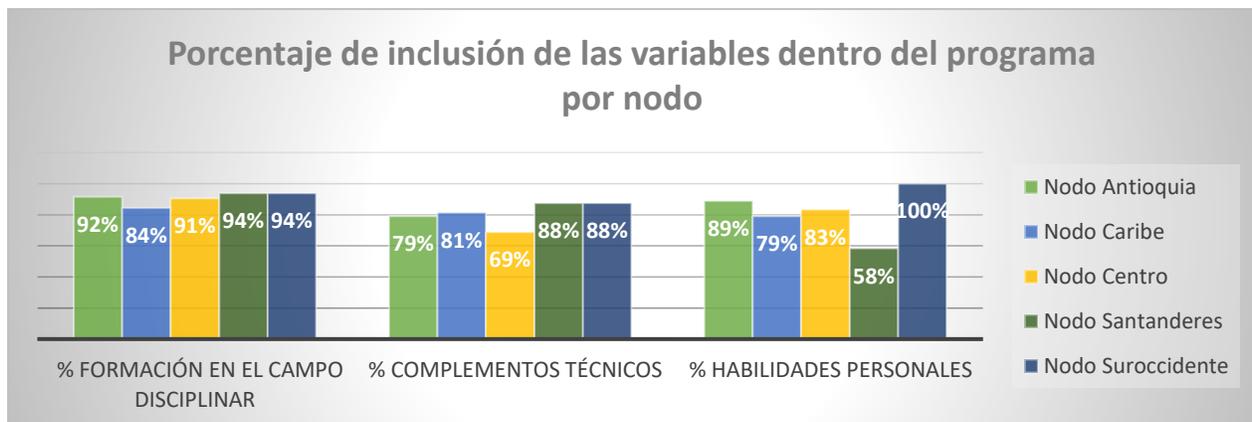
Porcentaje de inclusión de las variables dentro del programa por tipo de Universidad.



En la figura 28 puede verse que, en cada variable, es la universidad privada la que cuenta con mayor porcentaje de inclusión dentro del programa de ingeniería industrial con diferencias porcentuales similares entre cada tipo.

Figura 29

Porcentaje de inclusión de las variables dentro del programa por nodo.



Con respecto a cada variable por nodo, los nodos Suroccidente y Santanderes lideran con mayor porcentaje de inclusión de las variables formación en el campo disciplinar y complementos técnicos, mientras que, en la variable de habilidades personales, lidera los nodos Suroccidente y Antioquia. El nodo con menor porcentaje de inclusión es nodo Caribe en la variable formación del campo disciplinar, nodo Centro en la variable de complementos técnicos y nodo Santanderes en la variable de habilidades personales.

Análisis de la evaluación de los perfiles de formación. Para obtener información detallada acerca de los perfiles de formación que fueron objeto de estudio, puede ver el anexo 4 (externo): [Matriz comparativa perfil ingeniero industrial.](#)

Dentro del marco de la industria 4.0 se están analizando en Colombia los perfiles educativos del ingeniero industrial y campos afines. Muestra una gama de fortalezas y áreas de mejora. Se utilizó un método que consistió en definir los criterios de evaluación, crear una tabla comparativa y llenarla con información de 18 universidades elegidas, lo que permitió obtener una comprensión global para evaluar la conexión entre la educación académica y las necesidades del mercado laboral.

Los resultados indican que las habilidades financieras, analíticas y estadísticas tienen una gran importancia, al igual que la calidad y la mejora continua, lo que sugiere un enfoque integral en aspectos financieros, análisis de datos y gestión de calidad en los programas evaluados. Se encontraron áreas de mejora en habilidades como gestión del talento humano, gestión por proyectos y transformación digital, con menos atención en la inclusión. Esto sugiere una posible falta de las habilidades necesarias para abordar los desafíos tecnológicos actuales. Hubo un ligero aumento en el porcentaje de inclusión en las variables evaluadas en las universidades privadas, lo que podría indicar disparidad en los métodos educativos o recursos disponibles respecto a las universidades públicas. El nodo Suroccidente mostró la inclusión más alta en general, indicando cambios significativos en la inclusión de habilidades específicas para el nodo regional.

Este análisis proporciona razones sólidas para mejorar continuamente los programas académicos de ingeniería industrial en Colombia, centrándose en fortalecer habilidades fundamentales como la gestión del talento humano y la transformación digital para asegurar una formación efectiva y relevante dentro del marco de la industria 4.0.

5.1.4. ***Entregable 1. Infografía de la industria 4.0 en Colombia, la tecnología (dura y blanda) usada por sus empresas y la relación de Learning Factory en los perfiles de formación.***

Ver anexo 5 (externo): [Infografía industria 4.0 en Colombia](#). Los resultados de esta primera fase fueron socializados y divulgados a partir de la infografía elaborada, en los siguientes escenarios:

- Encuentro de semilleros de Investigación y Jóvenes Investigadores – ESI 2024 llevado a cabo el 16 y 17 de abril de 2024 en ciudad universitaria Medellín. La constancia de participación puede verse en el anexo 6 (externo): [Certificado socialización ESI + JI 2024](#).
- Jornada de conferencias del grupo de investigación Ingeniería & Sociedad llevada a cabo el 22 de mayo de 2024 a través de la plataforma zoom y de la cual está disponible la grabación a través del siguiente enlace: https://www.youtube.com/watch?v=89G_toH1hQ4. La constancia de participación puede verse en el anexo 7 (externo): [Carta Agradecimiento – Conferencia](#). La presentación utilizada para la socialización puede verse también en el anexo 8 (externo): [Presentación - jornada de conferencias I&S](#).

5.1.5. ***Resumen del análisis de la fase 1***

La caracterización de los pilares de la industria 4.0 en Colombia muestra una adopción desigual de tecnologías avanzadas. Mientras la IA se ha adoptado en una de cada cuatro empresas, tecnologías como la fabricación aditiva, la realidad aumentada y la robótica tienen menor adopción debido a barreras presupuestarias, falta de conocimiento y resistencia al cambio. La computación en la nube ha crecido, con empresas replicando procesos estratégicos en esta plataforma. No obstante, la seguridad cibernética es un desafío, con un aumento significativo de ciberdelitos en sectores clave como el industrial, gubernamental, educativo y de salud.

Las entrevistas a empresas colombianas revelan una integración significativa de tecnología en procesos operativos y un interés creciente en la transformación digital, aunque muchas están en etapas iniciales. La adopción de sistemas de gestión e infraestructura tecnológica varía, subrayando

la necesidad de mejoras en diferentes áreas. Sorprendentemente, el área de finanzas no ha sido un foco de mejoras tecnológicas, lo que podría deberse a desconocimiento o resistencia cultural. Las empresas están dispuestas a invertir en tecnologías de la industria 4.0, destacando la importancia de competencias técnicas y blandas, como liderazgo y aprendizaje continuo.

El análisis de los perfiles de formación en la industria 4.0 en Colombia muestra fortalezas y áreas de mejora. Habilidades financieras, analíticas y de gestión de calidad son importantes, pero hay deficiencias en la gestión del talento humano, gestión por proyectos y transformación digital. Este análisis resalta la necesidad de mejorar continuamente los programas académicos para asegurar una formación efectiva y relevante en el contexto de la industria 4.0, enfocándose en fortalecer habilidades fundamentales para enfrentar desafíos tecnológicos.

5.2. Fase II. Diseño

Para dar respuesta al objetivo: Diseñar una metodología que permita valorar el impacto de las competencias académicas necesarias para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de industria 4.0.

Se ejecutaron una a una las actividades, para obtener los siguientes resultados:

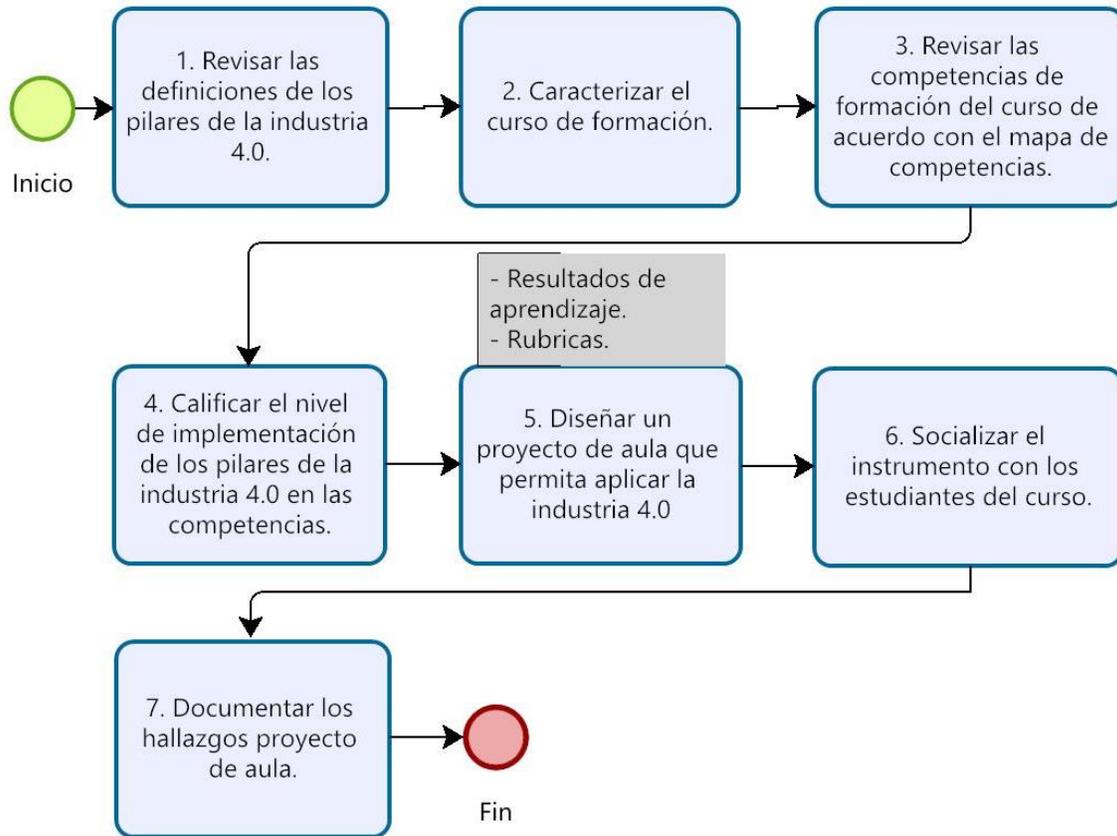
5.2.1. Comparar los pilares y tecnologías asociadas con industria 4.0, las competencias de los perfiles de formación, la aplicación de Learning Factory en el contexto de la industria colombiana.

Para esta actividad y de acuerdo con el objetivo, se plantea el diseño de un paso a paso piloto que permita gestionar las tecnologías empresariales asociadas a la I4.0 y aplicar Learning Factory a través de los cursos de formación del campo disciplinar de la ingeniería industrial.

Los siguientes son los pasos de la metodología propuesta:

Figura 30

Paso a paso metodológico.



Estos pasos fueron plasmados en un documento de excel, el cual fue configurado de manera tal que la persona que utilice este instrumento pueda seguir los pasos de una manera guiada hasta obtener el producto final como trabajo aplicable a los cursos. Este instrumento con la metodología definida hace parte del entregable de esta segunda fase y puede verse en el anexo 9 (externo): [Metodología Gestión LF&I4.0](#). A continuación se presenta la descripción de cada uno de los pasos definidos:

Paso 1. Revisar las definiciones de los pilares de la industria 4.0: En este paso, se examinan las definiciones fundamentales de los pilares que conforman la industria 4.0. El objetivo es comprender claramente cada concepto para su aplicación efectiva en el ámbito educativo. Estas definiciones se encuentran dentro del instrumento diseñado.

Paso 2. Caracterizar el curso de formación. Esta caracterización proporciona un contexto claro para la implementación y evaluación de la metodología. En este paso, se procede a caracterizar el curso de formación identificando aspectos clave como:

- Nombre del curso.

- Semestre académico al que pertenece de acuerdo con la malla curricular (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
- Nombre del profesor.
- Cantidad de estudiantes en el curso al momento de aplicarse.

Paso 3. Revisar las competencias de formación del curso de acuerdo con el mapa de competencias definido para el programa de ingeniería industrial.

Este paso implica revisar las competencias de formación específicas del curso, de acuerdo con el mapa general de competencias establecido para el programa de ingeniería industrial y tomar los elementos de las competencias. Esto garantiza que el contenido y los objetivos del curso estén en sintonía con los estándares y objetivos académicos más amplios del programa.

Tabla 10

Encabezados del mapa de competencias del programa de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia.

Competencia Global	Unidades de Competencia	Elementos de Competencia	Módulos	Código del elemento
--------------------	-------------------------	--------------------------	---------	---------------------

Nota. Adaptado de UdeA (s.f.).

Paso 4. Calificar el nivel de implementación de los pilares de la industria 4.0 en las competencias de formación del curso.

Para efectuar esta calificación, se retoman los pilares inherentes a la industria 4.0 y las competencias establecidas en el programa de ingeniería industrial y áreas afines, con el propósito de evaluar el grado de representación de cada pilar dentro de cada competencia del programa. Con este fin, se elabora una matriz comparativa de naturaleza cuantitativa, empleando una escala de calificación que se define de la siguiente manera:

Nivel muy bajo (1): La competencia apenas se relaciona con el pilar de la industria 4.0 y su implementación es mínima o inexistente.

Nivel bajo (2): La competencia tiene una relación limitada con el pilar de la industria 4.0 y su implementación es poco significativa.

Nivel medio (3): La competencia tiene una relación moderada con el pilar de la industria 4.0 y su implementación es relevante en ciertos contextos.

Nivel alto (4): La competencia se relaciona fuertemente con el pilar de la industria 4.0 y su implementación es significativa en la mayoría de los contextos relevantes.

Nivel muy alto (5): La competencia está altamente relacionada con el pilar de la industria 4.0 y su implementación es fundamental en prácticamente todos los contextos relevantes.

La plantilla de calificación es la siguiente:

Tabla 11

Matriz comparativa: Competencias vs pilares I4.0

Competencias del programa de ingeniería industrial	Pilares de la industria 4.0 - Califique el nivel de implementación/aplicación (Muy bajo: 1, Bajo: 2, Medio: 3, Alto: 4, Muy alto: 5)									
	Big data	Computación en la nube	El internet de las cosas	Fabricación aditiva	Integración de sistemas horizontales y verticales	Realidad aumentada	Robots autónomos	Seguridad cibernética	Simulación	% Implementación pilares por competencia
% Competencias en las que se implementa el pilar										

Una vez diligenciada la matriz, se podrá obtener una columna al final de la tabla con los porcentajes generales de implementación de los pilares de la industria 4.0 en cada una de las competencias y el porcentaje total de implementación de los pilares en el curso evaluado. También se obtendrá en la última fila el porcentaje de competencias en las que se implementa cada pilar. Con base en esto último, el profesor podrá seleccionar el pilar que mayor porcentaje de implementación tenga, para potenciarlo a través del siguiente paso.

Paso 5. Diseñar un proyecto de aula que permita aplicar la industria 4.0 de acuerdo con los niveles de implementación de los pilares calificados en el paso anterior y con el nivel académico al que pertenece el curso.

Definir el tipo de proyecto a realizar: Para definir el tipo de proyecto, se considera el semestre académico al que pertenece el curso y se sugiere el siguiente enfoque:

- Semestres 1, 2 y 3: Proyecto exploratorio documental (Debate, foro, exposición, trabajo en grupo, examen oral o escrito).
- Semestres 4, 5 y 6: Proyecto teórico-experimental (trabajo práctico, trabajo en grupo, examen oral o escrito).
- Semestres 7, 8 y 9: Proyecto de práctica aplicada (trabajo práctico de campo, trabajo en grupo).

Para la elaboración del instrumento del proyecto de aula, considere el siguiente contenido:

Definir un objetivo del proyecto donde involucre el pilar de la I4.0 seleccionado.

Seleccionar un resultado de aprendizaje considerando los pilares de transformación de Learning Factory:

- Pilar Didáctico: Este pilar se centra en el componente educativo de la fábrica de aprendizaje, abarcando aspectos como el grupo meta, la meta educativa y las estrategias de aprendizaje. Se enfoca en la selección de usuarios y sus objetivos de aprendizaje, buscando construir un ambiente educativo efectivo dentro de la fábrica de aprendizaje.
- Pilar de Integración: Este pilar tiene como objetivo promover la integración de diversas áreas dentro de la fábrica de aprendizaje. Aunque la fabricación es central, se reconoce la importancia de actividades como el diseño, la logística, la planificación y el control de la producción. Se busca integrar escuelas de ingeniería, administración, marketing y economía para crear un entorno interdisciplinario en la fábrica de aprendizaje.
- Pilar de Ingeniería: Este pilar engloba aspectos técnicos y tecnológicos dentro de la fábrica de aprendizaje. Incluye tecnologías, objetivos de ingeniería y estrategias, actuando como el conductor de los contenidos técnicos y tecnológicos presentes en la fábrica de aprendizaje (Baena Restrepo, Guarín Grisales, & Mora Orozco, 2017).

En el instrumento que contiene la metodología se incluyen opciones de resultados de aprendizaje de cada uno de los pilares de transformación de Learning Factory combinados con los

pilares de la industria 4.0. Seleccione y ajuste el que mejor se adapte de acuerdo con la asignatura trabajada y el pilar de la industria 4.0 definido en el paso 4. Agregue los resultados de aprendizaje que crea necesarios para el proyecto de aula.

- Establecer metodología a seguir para lograr el resultado de aprendizaje: trabajo grupal o individual, partes del trabajo como portada, objetivos, introducción, desarrollo del trabajo, análisis, conclusiones, entre otros.
- Definir las condiciones de entrega: modalidad (presencial o virtual), fecha mínima y fecha máxima de entrega, medio de entrega, porcentaje asignado al proyecto con respecto al curso, etc.
- Ajustar la rúbrica de evaluación: Dentro del instrumento de la metodología se entrega una plantilla general en excel con rúbricas por tipo de actividad definida para el semestre: debate, foro, exposición, trabajo en grupo, trabajo práctico y examen oral o escrito (Cuando se trata de preguntas abiertas y argumentativas), allí se ajustará cada criterio de acuerdo con lo que se busca en la actividad, y el porcentaje asignado a cada criterio. La rúbrica utiliza una escala de calificación de seis niveles: Cumple totalmente (5), Satisfactorio (4), Suficiente (3), Regular (2), Insuficiente (1), No cumple (0) y se define para cada criterio, lo que representa cada calificación.

Paso 6. Socializar el instrumento con los estudiantes del curso. Este paso implica compartir el instrumento de evaluación con los estudiantes del curso. El objetivo es familiarizarlos con los criterios de evaluación, explicar su importancia y clarificar cualquier duda que puedan tener. Esta socialización fomenta la transparencia y la comprensión mutua entre el docente y los estudiantes, promoviendo un proceso de evaluación justo y efectivo. En otras palabras, se busca dejar claro qué se hace, por qué se hace y para qué se hace.

Paso 7. Documentar los hallazgos del trabajo de campo en empresas del proyecto de aula. Con base en el objetivo y los resultados de aprendizaje definidos, documente los principales hallazgos y logros alcanzados.

Para los trabajos prácticos orientados a empresas, se propone de manera opcional, evaluar la satisfacción del proyecto mediante una encuesta dirigida a las empresas involucradas. Esta encuesta busca recoger opiniones sobre el proyecto desarrollado por los estudiantes y su impacto en las organizaciones. La encuesta propuesta se incluye dentro del instrumento y puede ser utilizada desde allí o puede ser adaptada en herramientas de formularios digitales.

Esta metodología fue aplicada en el curso de ingeniería del mejoramiento continuo en modalidad presencial durante el semestre 2024-1. El trabajo diseñado fue aplicado como parte evaluativa del curso y el promedio obtenido entre los estudiantes fue 4,5 de 4,0. Se anexa el trabajo diseñado y uno de los mejores trabajos obtenidos en el curso. Ver anexos 10 y 11 (externos): [Metodología aplicada - WORKSHOP IMC](#) (plantilla del trabajo elaborado para el curso) y [Metodología aplicada – Mejor WORKSHOP IMC](#) (mejor trabajo desarrollado por los estudiantes).

5.2.2. *Relacionar las necesidades tecnológicas empresariales e industria 4.0.*

Se elabora una matriz que contiene información sobre el porcentaje de implementación de los pilares de la industria 4.0 para relacionar estas necesidades. Se utiliza la información obtenida en la revisión de la literatura y se aplica una escala porcentual del 0% al 100%. Según la revisión de la literatura, se nota que en promedio la implementación de los pilares alcanza el 62%, evidenciando algunas necesidades de fortalecimiento en la implementación de computación en la nube y seguridad cibernética. También, la información obtenida de entrevistas realizadas a cinco empresas de los cinco sectores económicos con mayor productividad en 2023 ubicadas en las cinco ciudades más competitivas para el mismo año y de la cual se habló en el punto 5.1.2., es retomada. El porcentaje promedio de uso de los pilares es del 59% se emplea con necesidad de fortalecer el pilar de robots autónomos, que es el más bajo, seguido del Internet de las cosas.

Además, se toma en cuenta como tercera fuente de información las encuestas realizadas por los estudiantes del curso de ingeniería del mejoramiento continuo de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia en el semestre 2024-1, a empresas de diferentes sectores ubicados en Medellín y otras ciudades. Se clasificaron las tecnologías evaluadas en los pilares de la industria 4.0, de acuerdo con la tabla 1 de Pilares vs. tecnologías de la industria 4.0, retomada de la revisión inicial de la literatura en cuanto a la caracterización de los pilares. Para ampliar detalles de la información obtenida en estas encuestas, ver el anexo 12 (externo): [Instrumento Necesidades tecnológicas IMC](#).

Se tomó el promedio obtenido en cada pilar de acuerdo con sus tecnologías asociadas y se encontró un porcentaje bajo de implementación, siendo en promedio del 24%, lo cual muestra necesidades de fortalecimiento en casi todos los pilares, con excepción de computación en la nube,

que contrasta con lo obtenido en la literatura, ya que allí se consideró principalmente el impacto que puede tener este pilar sobre la operación directa como tal.

Tabla 12

Matriz de cruce de pilares I4.0.

Fuente / Pilares	Tecnologías / Pilares	Realidad aumentada	Computación en la nube	Seguridad cibernética	Fabricación aditiva	Big data	El internet de las cosas	Simulación	Int. sistemas horizontales y verticales	Robots autónomos	Promedio
Literatura pilares	Pilares I4.0	73%	33%	33%	80%	67%	67%	73%	47%	80%	61%
Entrevistas empresas pilares 5-5	Pilares I4.0	48%	92%	72%	52%	76%	40%	60%	56%	36%	59%
Entrevistas empresas tecnologías	Promedios tecnologías por pilar I4.0	15%	92%	38%	0%	25%	36%	8%	5%	0%	24%
Promedio		45%	72%	48%	44%	56%	48%	47%	36%	39%	

La integración de los pilares de la industria 4.0 en el sector empresarial es crucial para mantener la competitividad y eficiencia. Los datos muestran una implementación moderada en algunos pilares, pero también revelan áreas significativas de mejora. La computación en la nube y la ciberseguridad, aunque reconocidas en la literatura como fundamentales, necesitan mayor atención y desarrollo en las empresas encuestadas. Los robots autónomos y la integración de sistemas horizontales y verticales presentan las mayores oportunidades de mejora, destacando la necesidad de invertir en tecnologías que permitan automatizar y optimizar los procesos de producción y gestión.

La implementación de robótica autónoma es crucial para automatizar y optimizar los procesos de producción, aumentando la eficiencia y reduciendo los costos operativos. Además, la integración de sistemas horizontales y verticales es esencial para mejorar la gestión de la información y la coordinación entre diferentes niveles y áreas de la empresa. Invertir en tecnologías avanzadas como IoT, blockchain y sistemas de gestión en tiempo real permitirá a las empresas alcanzar una mayor agilidad y precisión en sus operaciones, facilitando una toma de decisiones más informada y efectiva. Los ingenieros industriales, con su conocimiento en procesos y

tecnologías, están en una posición ideal para liderar estos cambios y potenciar la competitividad y productividad empresarial en la era de la industria 4.0.

5.2.3. Entregable 2: Paso a paso metodológico de valoración para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales colombianas.

Ver anexo 9 (externo): [Metodología Gestión LF&I4.0](#). El entregable de esta segunda fase fue socializado y divulgado en los siguientes escenarios:

- Jornada de conferencias del grupo de investigación Ingeniería & Sociedad llevada a cabo el 22 de mayo de 2024 a través de la plataforma zoom y de la cual está disponible la grabación a través del siguiente enlace: https://www.youtube.com/watch?v=89G_toH1hQ4. La constancia de participación puede verse en el anexo 7 (externo): [Carta Agradecimiento - Conferencia](#).
- Taller de inicio de semestre con docentes de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia, en el cual se socializó el paso a paso y cada docente generó un trabajo evaluativo que relaciona las competencias del curso que lidera con los pilares de la industria 4.0 y los pilares de transformación de Learning Factory, estos trabajos podrán ser implementados en los cursos durante el 2024-2. Este taller se desarrolló al inicio del semestre 2024-2 de manera presencial en la sede principal en Medellín.

5.2.4. Resumen del análisis de la fase 2

Para alcanzar el objetivo de diseñar una metodología que valore el impacto de las competencias académicas en la gestión de tecnologías empresariales en el contexto de la industria 4.0, se desarrolló una metodología piloto aplicada a cursos de ingeniería industrial. Esta metodología incluye la revisión de los pilares de la industria 4.0, la caracterización de cursos, la evaluación de competencias y la creación de proyectos de aula que integran estos pilares. Los resultados mostraron la necesidad de una comprensión clara de cada pilar y la alineación de las competencias académicas con los objetivos industriales, garantizando así una implementación efectiva de tecnologías avanzadas.

Además, se elaboró una matriz para relacionar las necesidades tecnológicas empresariales con la industria 4.0, revelando que, aunque algunos pilares están moderadamente implementados, existen áreas significativas de mejora. Las encuestas a empresas y estudiantes indicaron un bajo nivel de implementación en robots autónomos e IoT, resaltando la necesidad de inversión en estas áreas. Los ingenieros industriales, con su formación en procesos y tecnologías, están en una posición ideal para liderar estos avances, impulsando la competitividad y productividad empresarial en la era de la industria 4.0.

5.3. Fase III. Monitoreo

Para cumplir con el objetivo: Estructurar escenarios de Learning Factory que permitan potencializar el aprendizaje significativo aplicado para la validación y monitoreo de las necesidades tecnológicas empresariales en la cuarta revolución industrial.

Se ejecutó cada una de las actividades, y se obtuvo los siguientes resultados:

5.3.1. Generar una escala de valoración del impacto de los perfiles de formación más afines con la cuarta revolución y sus pilares.

Para cumplir con esta actividad, se desarrolló un enfoque metodológico específico, ya desarrollado en la fase II de diseño, específicamente en el numeral 5. 2. 1, paso 4. Este enfoque se centra en calificar el nivel de implementación de los pilares de la industria 4.0 en las competencias de formación de los cursos de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia.

El proceso comienza con la identificación y definición de los pilares de la industria 4.0, seguido de una revisión exhaustiva de las competencias de formación especificadas en el programa de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia. La meta es evaluar el grado de representación de cada pilar dentro de estas competencias, utilizando una matriz comparativa de naturaleza cuantitativa. Esta matriz emplea una escala de calificación que varía desde un nivel muy bajo (1) hasta un nivel muy alto (5), permitiendo una evaluación detallada del grado de integración de los pilares de la industria 4.0 en las competencias del programa.

La plantilla de calificación mostrada en la tabla 11 permite obtener una visión clara del porcentaje de implementación de los pilares de la industria 4.0 en cada competencia y curso

evaluado. Con esta información, se puede identificar el pilar con el mayor porcentaje de implementación, ofreciendo a los profesores una herramienta valiosa para enfocar y potenciar el desarrollo de competencias específicas. De esta manera, se asegura que la formación académica esté alineada con las necesidades y demandas de la industria 4.0, preparando mejor a los estudiantes para enfrentar los desafíos tecnológicos y de gestión que encontrarán en el ámbito empresarial.

5.3.2. Proponer indicadores de medición como aporte de los perfiles de formación para el monitoreo empresarial.

El objetivo de esta actividad es desarrollar indicadores de medición que permitan evaluar y monitorear el impacto de los perfiles de formación en el contexto empresarial, especialmente en relación con la industria 4.0. Estos indicadores proporcionan una herramienta fundamental para medir la efectividad y la relevancia de las competencias académicas en el ámbito empresarial, asegurando que la formación de los estudiantes esté alineada con las demandas y necesidades del mercado laboral.

La tabla a continuación presenta una serie de indicadores diseñados específicamente para medir diferentes aspectos relacionados con la implementación y el impacto de la industria 4.0 en los perfiles de formación académica. Cada indicador incluye una descripción detallada, la forma de cálculo, una meta específica, la frecuencia de medición y la fuente de datos correspondiente. Estos indicadores abarcan desde la evaluación de proyectos académicos enfocados en la industria 4.0, hasta la satisfacción de las empresas con los practicantes, pasando por la implementación de competencias y pilares de la industria 4.0 en los currículos académicos.

Tabla 13

Indicadores de medición.

Indicador	Descripción	Forma de cálculo	Meta	Frecuencia de medición	Fuente de datos
Proyectos relacionados con industria 4.0 semestre a semestre por IES y programa	Número de proyectos académicos enfocados en pilares de la industria 4.0	$((N^{\circ} \text{ proyectos semestre actual} - N^{\circ} \text{ proyectos semestre anterior}) / N^{\circ} \text{ proyectos semestre anterior}) \times 100\%$	Incrementar un 10%	Semestral	Registros de proyectos estudiantiles
Porcentaje de competencias que se asocian con industria 4.0 en el perfil de formación por IES	Medir el porcentaje de las competencias altamente asociadas con la industria 4.0 en el currículo académico	$(\text{Competencias asociadas con I4.0} / \text{Total competencias}) \times 100\%$	$\geq 70\%$	Anual	Mapa de competencias del perfil de formación
Porcentaje de implementación de los pilares de industria 4.0 en las competencias del perfil de formación por IES	Evaluar el nivel de implementación de cada pilar de la industria 4.0 en las competencias del perfil de formación.	$(\text{Sumatoria de calificaciones de las competencias} / (\text{Total de competencias} \times 5)) \times 100\%$ - por pilar	$\geq 50\%$ por pilar	Anual	Paso 4 de la metodología de gestión de Learning Factory e industria 4.0 aplicado a todas las competencias
Porcentaje de implementación de los pilares de industria 4.0 en los cursos del campo disciplinar del perfil de formación por IES	Evaluar el nivel de implementación de cada pilar de la industria 4.0 en el campo disciplinar del perfil de formación	$(\text{Sumatoria de calificaciones de las competencias} / (\text{Total de competencias} \times 5)) \times 100\%$ - por curso del campo disciplinar	$\geq 50\%$ por curso	Anual	Paso 4 de la metodología de gestión de Learning Factory e industria 4.0
Porcentaje de inclusión de industria 4.0 en los Perfiles de Formación de las Universidades Colombianas	Evaluación de universidades que integran formalmente la industria 4.0 en sus programas	$(\text{Universidades con I4.0 en sus programas} / \text{Total universidades}) \times 100\%$ - por perfil de formación	$\geq 90\%$	Anual	Encuestas y análisis de planes de estudio de los perfiles de formación de las universidades.

Satisfacción de las empresas con los practicantes por IES y programa	Nivel de satisfacción de las empresas con los practicantes en competencias del campo disciplinar, de las habilidades personales y de las habilidades técnicas relacionadas con la industria 4.0.	Promedio ponderado: ((% satisfacción en el campo disciplinar x (N° competencias CD / total competencias) + (% satisfacción de habilidades personales x (N° competencias HP / total competencias) + (% satisfacción de habilidades técnicas x (N° competencias HT / total competencias))) x 100%	>85% de satisfacción en todas las dimensiones	Semestral	Encuestas a empresas anfitrionas - desde la coordinación de prácticas.
---	--	--	---	-----------	--

Estos indicadores son esenciales para el seguimiento continuo del impacto de la industria 4.0 en la formación académica y su aplicabilidad en el sector empresarial. A través de la medición regular y sistemática, las instituciones educativas pueden ajustar y mejorar sus programas de estudio para garantizar que los estudiantes estén preparados para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades de la industria 4.0.

5.3.3. *Entregable: Análisis cruzado de la relación universidad - empresa en términos de los impactos académicos y empresariales fortalecidos por la aplicación de la industria 4.0.*

Este entregable final se centra en un análisis detallado de la relación entre las universidades y las empresas en el contexto de la industria 4.0, evaluando los impactos académicos y resultantes de este proyecto. A través de la aplicación de metodologías específicas y la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos, se han obtenido resultados significativos que destacan la importancia y la necesidad de fortalecer ciertos componentes para maximizar los beneficios de la industria 4.0.

La tabla a continuación resume los porcentajes de impacto obtenidos a lo largo de este proyecto, resaltando la inclusión de diversos componentes en los perfiles de formación en ingeniería industrial, el desempeño de la aplicación de Learning Factory en el curso específico de ingeniería del mejoramiento continuo del programa de ingeniería industrial de la Universidad de Antioquia, así como el impacto económico y el nivel de implementación de los pilares de la industria 4.0 en el ámbito empresarial. Estos datos permiten dar una idea inicial de las áreas que requieren mayor atención y fortalecimiento para mejorar la efectividad y la integración de la industria 4.0 en el entorno académico y empresarial. Para determinar la necesidad de fortalecimiento, se tomó el promedio de porcentajes obtenidos en impacto académico e impacto empresarial y se le restó a un valor máximo de porcentaje correspondiente al 100%.

Tabla 14

Análisis cruzado de la relación universidad - empresa en términos de los impactos académicos y empresariales fortalecidos por la aplicación de la industria 4.0.

Componente	Relación con la industria 4.0		
	Impacto Académico	Impacto Empresarial	Necesidad de fortalecimiento
Intención de inversión en pilares I4.0 - entrevistas empresas	-	100%	0%
Inclusión del campo disciplinar en los perfiles de formación I.I.	90%	100%	5%
Inclusión de habilidades personales en los perfiles de formación I.I.	83%	88%	15%
Inclusión de complementos técnicos en los perfiles de formación I.I.	79%	-	21%
Desempeño aplicación de Learning Factory - curso IMC UdeA	90%	75%	18%
Impacto económico pilares I4.0 - literatura	-	61%	39%
Nivel de implementación pilares I4.0 - entrevistas empresas	-	59%	41%

5.3.4. Resumen del análisis de la fase 3

Al explorar la relación entre la universidad y la empresa a través del análisis cruzado, se genera impactos académicos y empresariales mostrando resultados que dan una idea inicial acerca de las necesidades de fortalecimiento. El alto impacto académico de la inclusión del campo disciplinar y las habilidades personales en los perfiles de formación de ingeniería industrial se demuestra con porcentajes del 90% y 83%, respectivamente. Como impacto empresarial, estos elementos también guardan una estrecha relación con la industria 4.0 logrando una tasa de impacto del 100% y 88%, respectivamente.

No obstante, es importante resaltar que existe una notable necesidad de fortalecimiento en los perfiles de formación mediante la incorporación de complementos técnicos, ya que se ha detectado una necesidad del 21%. La formación técnica de los estudiantes en esta área es una oportunidad fundamental para prepararlos de manera óptima ante los retos tecnológicos que presenta la industria 4.0. Por otra parte, el curso de ingeniería del mejoramiento continuo de la

Universidad de Antioquia revela un 18% de necesidad de fortalecimiento en cuanto al rendimiento y funcionamiento de la aplicación Learning Factory. Esto señala oportunidades para mejorar los métodos educativos y lograr una implementación más efectiva de las tecnologías relacionadas con la I4.0.

El impacto económico de los pilares de la I4.0 en las empresas según la revisión de la literatura, se estimó en un 61%, mientras que las entrevistas con empresas revelaron un nivel de implementación del 59%. Estos porcentajes resaltan que, si bien hay una base sólida de implementación, todavía existe una considerable necesidad de mejorar y ampliar estas tecnologías. Sin embargo, la intención de invertir en los pilares de la industria 4.0 es del 100% de acuerdo con las mismas entrevistas, lo que indica un sólido interés y compromiso del sector empresarial en promover una mayor incorporación de estas tecnologías.

Estos resultados iniciales indican un panorama prometedor, pero también resaltan la necesidad de una investigación más profunda y una mayor recolección de datos. Ampliar el muestreo a más empresas de diversos sectores económicos podría ofrecer una visión más precisa y ajustada de la realidad. Además, la implementación de indicadores específicos como los propuestos en la tabla 13 pueden proporcionar una herramienta valiosa para monitorear y evaluar continuamente el impacto de las competencias académicas en la gestión de las tecnologías de la industria 4.0.

Aplicando estos indicadores no solo en el programa de ingeniería industrial, sino también en otros programas académicos de diversas universidades, se podría obtener una imagen más clara y precisa de las necesidades de mejora en la academia. Esto permitiría a las instituciones educativas ajustar sus currículos y métodos de enseñanza para estar más alineados con las demandas tecnológicas y empresariales actuales, potenciando así el impacto positivo de la industria 4.0 en el desarrollo económico y social del país.

6. Conclusiones

El proyecto permitió caracterizar el panorama de las tecnologías empresariales en Colombia con respecto a las aplicaciones de la industria 4.0 y la afinidad de los perfiles de formación de ingeniería industrial para gestionarlas. A través de entrevistas y encuestas realizadas a empresas y análisis de literatura, se identificó un nivel de implementación moderado de los pilares de la industria 4.0, con un promedio del 59% en las empresas evaluadas. Sin embargo, también se destacó la necesidad de fortalecer pilares como la ciberseguridad y los robots autónomos. Esta primera mirada sugiere que, aunque hay avances significativos, se requiere una investigación más profunda y amplia para ajustar las estrategias formativas a las necesidades reales del sector empresarial.

Se diseñó una metodología que tiene como objetivo valorar el impacto de las competencias académicas necesarias para gestionar eficientemente las tecnologías empresariales en el contexto de la industria 4.0. Se desarrolló un paso a paso metodológico que incluye la revisión de los pilares de la industria 4.0 y la elaboración de una matriz comparativa cuantitativa para evaluar el grado de implementación de estos pilares en las competencias de los cursos. La metodología abarcó la caracterización de los cursos de formación, la calificación del nivel de implementación de los pilares de la industria 4.0 en las competencias específicas y el diseño de trabajos aplicados que permitan apuntar hacia resultados de aprendizaje que enlazan la I4.0 con los pilares de transformación de Learning Factory.

Este proceso metodológico permite identificar las competencias que están alineadas con los pilares de la industria 4.0 y aquellas que requieren mayor fortalecimiento dentro del programa de ingeniería industrial de la UdeA. Aunque este estudio inicial proporciona una valiosa visión sobre la integración de la industria 4.0 en el currículo académico, es fundamental realizar investigaciones más profundas y extensas para validar y ajustar esta metodología en diferentes programas académicos y contextos empresariales. La implementación y el mejoramiento continuo de esta metodología son cruciales para garantizar que las competencias académicas se mantengan relevantes y alineadas con las demandas tecnológicas actuales y futuras de la industria.

En la tercera fase del proyecto, se logró diseñar una serie de indicadores clave para evaluar la integración de tecnologías empresariales de la industria 4.0 en entornos académicos a través de escenarios de Learning Factory. Estos indicadores permitirán medir de manera efectiva el impacto

académico y empresarial de estas tecnologías, proporcionando datos concretos sobre la preparación de los estudiantes en competencias relevantes para la gestión eficiente de la industria 4.0. Se elaboró un análisis que recopila información de todo el proyecto, el cual muestra la relación entre universidades y empresas en términos de adopción y aplicación de estas tecnologías emergentes.

Estos resultados iniciales destacan la necesidad de continuar con investigaciones más profundas y muestras más amplias para validar y ajustar las conclusiones obtenidas, ofreciendo una base sólida para futuros estudios en el ámbito académico y empresarial de la industria 4.0.

7. Recomendaciones

Basado en los hallazgos y resultados obtenidos en este proyecto, se formulan las siguientes recomendaciones para futuras líneas de estudio:

- **Ampliar el alcance de la investigación:** Extender el estudio a más universidades y empresas, abarcando diferentes sectores industriales y más regiones geográficas para obtener una perspectiva más completa de la integración de la industria 4.0 en la educación superior colombiana y en el ámbito empresarial.
- **Ajustar y validar los indicadores:** Continuar ajustando los indicadores diseñados para medir el impacto de las competencias académicas y la aplicación de tecnologías empresariales en contextos de Learning Factory. Esto incluye validar los resultados con estudios comparativos entre diferentes programas académicos.
- **Incorporar retroalimentación continua:** Establecer mecanismos de retroalimentación entre universidades y empresas para ajustar y mejorar los currículos académicos en función de las demandas cambiantes del mercado laboral en la era de la industria 4.0.

Referencias

- Abarca, J. D., Bahena, B. M., & Urbano, J. E. (2020). Industria 4.0. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 16(39), pág. 4.
- Abideen, A. S. (2023). Perspectivas colaborativas sobre logística horizontal para integrar la planificación de la cadena de suministro y la planificación de la logística del transporte: una revisión sistemática y un mapeo temático. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853123001683>
- AEROERMO. (2021). *Con diecisiete simuladores de vuelo certificados y nueve aeronaves producidas en Colombia, la Aeronáutica Civil presenta en F-AIR CONNECTION 2021 los resultados del apoyo a la industria aeronáutica*. Obtenido de <https://www.aeroermo.com/home/con-diecisiete-simuladores-de-vuelo-certificados-y-nueve-aeronaves-producidas-en-colombia-la-aeronautica-civil-presenta-en-f-air-connection-2021-los-resultados-del-apoyo-a-la-industria-aeronautica/>
- AGENCIA NACIONAL DIGITAL. (24 de Abril de 2023). *Colombia y el Metaverso*. Obtenido de <https://and.gov.co/noticias/colombia-metaverso>
- Aguilar, L. J. (2012). COMPUTACIÓN EN LA NUBE: Notas para una estrategia española en cloud computing. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*.
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Chapter 4. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. En A. Ustundag, & E. Cevikcan, *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (págs. 61-94). Springer. DOI:10.1007/978-3-319-57870-5_4.
- Álvarez Acevedo, K. A. (2022). *ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS 4.0 EN LAS GRANDES EMPRESAS DE PEREIRA*. Obtenido de <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/12471/1/DDMAE187.pdf>
- Baena Restrepo, F., Guarín Grisales, Á. d., & Mora Orozco, J. (Octubre de 2017). *Fábrica de Aprendizaje: Nuevo modelo de enseñanza productiva*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322509351_Fabrica_de_Aprendizaje_Nuevo_modelo_de_ensenanza_productiva?enrichId=rgreq-7a84739a9e12a66efe651ce8622b7481-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMjUwOTM1MTtBUzo3MjU1ODc5MDM2NDM2NTBAMTU1MDAwNTA0NTMxOA%3D%3D&el

-
- Baratta, A. C. (2023). Colaboración entre humanos y robots en la industria 4.0: una revisión de la literatura. *Procedia Computer Science*, 217, 1887-1895. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.389>
- Bautista García, F., Mesa Guzmán, L., & Blanco, L. F. (2023). *IA PARA LA PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN DE AMENAZAS*. Obtenido de <https://www.ccit.org.co/wp-content/uploads/estudio-anual-de-ciberseguridad.pdf>
- Bohórquez, K., & Montes, S. (11 de Octubre de 2022). *Colombia Forbes*. Obtenido de El futuro está en la nube: estas son las perspectivas de Colombia para una industria clave: <https://forbes.co/2022/10/11/genios-digitales-2022/el-futuro-esta-en-la-nube-estas-son-las-perspectivas-de-colombia-para-una-industria-clave>
- Boston Consulting Group. (s.f.). *Industria 4.0*. Obtenido de <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4.0>
- Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones. (16 de Noviembre de 2022). *Colombia en el puesto 65 del ranking global de seguridad cibernética*. Obtenido de <https://www.ccit.org.co/articulos-tictac/colombia-en-el-puesto-65-del-ranking-global-de-seguridad-cibernetica/>
- Cámara de comercio de Bogotá. (2023). *PIB Bogotá y Colombia, 2015-2023*. Obtenido de <https://www.ccb.org.co/informacion-especializada/observatorio/analisis-economico/crecimiento-economico/pib-bogota-y-colombia-2015-2022>
- CampusMVP. (5 de Noviembre de 2021). *Integración horizontal y vertical en la industria 4.0*. Obtenido de <https://www.campusmvp.es/recursos/post/integracion-horizontal-y-vertical-en-la-industria-4-0.aspx>
- Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroño, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379>.
- Chehri, A. Z. (2021). Teoría y práctica de la implementación de una estrategia exitosa de IoT empresarial en la era de la industria 4.0. *Procedia computer science*, 192, 4609-4618. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.239>
- CICCE. (28 de Marzo de 2017). *Conozca las siete grandes ventajas de trabajar en un simulador de gestión empresarial con tecnología SAP*. Obtenido de <https://www.cicce.edu.co/blog->

- cicce/conozca-las-7-grandes-ventajas-de-trabajar-en-un-simulador-de-gestion-empresarial-con-tecnologia-sap/
- Cimino, A. G. (2023). Modelado y simulación como tecnología habilitadora de la Industria 4.0 para respaldar el diseño de procesos de fabricación: una aplicación industrial real. *Procedia Computer Science*, 217, 1877-1886. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.388>
- Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017). Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14958-14963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2550>.
- CONSEJO PRIVADO DE COMPETITIVIDAD. (2021). *INFORME NACIONAL*. Obtenido de https://compite.com.co/wp-content/uploads/2020/11/web-CPC_INC_2020_2021_LIBRO_DIGITAL_PAGINAS.pdf
- Consejo Privado de Competitividad. (2023). *Índice de Competitividad de Ciudades*. Obtenido de <https://compite.com.co/indice-de-competitividad-de-ciudades/#:~:text=El%20ICC%202023%20es%20liderado,pilares%20que%20conforman%20la%20medici%C3%B3n>
- Cornejo García, M. D. (2021). Uso de la realidad aumentada en el aprendizaje significativo. Universidad de Guayaquil, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación.
- Díaz Vizoso, L. (2018). *Fabricación digital en fachadas: difuminación de los límites constructivos mediante la impresión 3D*.
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles. *Sustainability*, 12(23), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su12239927>.
- Dominguez, N. (25 de Enero de 2024). Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país y revisar los pilares de la Industria 4.0 en las empresas. (V. Morales, Entrevistador)
- Efatmaneshnik, M., Shoval, S., & Qiao, L. (2018). A standard description of the terms module and modularity for systems engineering. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(2), 365-375. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2878589>.
- Elhazmiri, B. N. (2022). El papel de la fabricación aditiva en la industria 4.0: una exploración de diferentes modelos de negocio. *Sustainable Operations and Computers*, 317-329.
- Flórez, G. (8 de Febrero de 2024). Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país y revisar los pilares de la Industria 4.0 en las empresas. (V. Morales, Entrevistador)

-
- Garghetti, F. G. (2023). *Minería de big data multiflujo para la industria 4.0 en mecanizado: nueva aplicación de una red unitaria recurrente con compuerta*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123002986>
- GEINSYS. (24 de Junio de 2021). *Internet de las cosas en Colombia, una OPORTUNIDAD para crecer*. Obtenido de <https://blog.geinsys.com/internet-de-las-cosas-en-colombia-una-oportunidad-para-crecer/>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management* 29(6), 1-10. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *Proceedings of 49th Hawaii International Conference on System Sciences HICSS, Koloa*, 3928-3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>.
- IBM. (s.f.). *¿Qué es la ciberseguridad?* Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/cybersecurity>
- Jagtap, S. S. (2021). Alimentos 4.0: implementación de sistemas de realidad aumentada en la industria alimentaria. *Procedia CIRP*, 104, 1137-1142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.191>
- Jerez González, M. (2023). *Big data y Analítica de Datos. Aplicaciones en Movilidad, Logística y Transportes*.
- Joyanes Aguilar, L. (2017). *Industria 4.0: la cuarta revolución industrial*. México: Alfaomega.
- Kaur, R. G. (2023). Inteligencia artificial para la ciberseguridad: revisión de la literatura y futuras direcciones de investigación. *Information Fusion*, 97. doi:<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101804>
- La nota económica. (8 de Mayo de 2023). *Colombia tiene un déficit en Big Data ¿cómo lo está afrontando?* Obtenido de <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-tiene-un-deficit-en-big-data-como-lo-esta-afrontando/>
- La Nota Económica. (s.f.). *Para el 2023 se estima que el 47% de las empresas en Latinoamérica cuentan con IoT ¿Colombia está preparada?* Obtenido de <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/para-el-2023-se-estima-que-el-47-de-las-empresas-en-latinoamerica-cuenten-con-iot-colombia-esta-preparada-2/>

-
- La República. (26 de Diciembre de 2022). *La inversión en computación en la nube crecerá hasta 45% en América Latina en 2023*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/en-2023-la-inversion-en-computacion-en-la-nube-crecera-hasta-45-en-latinoamerica-google-cloud-3515878>
- La República. (26 de Septiembre de 2022). *Las empresas colombianas que han integrado la inteligencia artificial a sus servicios*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/revolucion-5-0/las-empresas-colombianas-que-han-integrado-la-inteligencia-artificial-a-sus-servicios-3713204>
- La República. (22 de Enero de 2022). *Las empresas que están aportando por la realidad aumentada y virtual en Colombia*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/internet-economy/las-empresas-que-estan-aportando-por-la-realidad-aumentada-y-virtual-en-colombia-3290226>
- La República. (6 de Agosto de 2023). *WayGroup crea simulador de realidad virtual para la prevención de accidentes viales*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/empresas/waygroup-crea-simulador-de-realidad-virtual-para-la-prevencion-de-accidentes-viales-3673675>
- Lafont Mendoza, J., Hoyos, T., F., & Ensuncho Muñoz, A. (2021). Desafíos de las universidades ante la tendencia mundial de la Industria 4.0. *Revista de Ciencias Sociales (RCS, XXVII(4)*, págs. 306-318.
- LOGIMAT. (30 de Mayo de 2023). *IMPRESORAS 3D CAMBIAN MODELOS DE NEGOCIO*. Obtenido de <https://www.logimat.com.co/impresoras-3d-cambian-modelos-de-negocio/>
- M., A. (3 de Mayo de 2022). *3D NATIVES*. Obtenido de ¿Cómo se está integrando la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia?: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-sector-construccion-colombia-03052022/>
- METALMECÁNICA. (9 de Marzo de 2023). *¿Cuál es el panorama de la implementación de los robots en Colombia?* Obtenido de <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/en-colombia-hay-menos-de-un-robot-industrial-por-cada-10000-trabajadores>
- Moisés Barrio, A. (2021). *Internet de las cosas*. Editorial Reus.
- Montoya, A., Guarín, Á., & Mora, J. (2020). *Advantages of Learning Factories for Production Planning Based on Shop Floor Simulation: A Step towards Smart Factories in Industry 4.0*. Industry 4.0 - Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing.

-
- Niño-Ruiz, E. D., Noriega E., M. d., Mejía Arango, J. L., Abello Llanos, R., Allain, J. P., Montoya, J. A., . . . Cadavid Giraldo, N. (2020). *Colombia y la nueva revolución industrial*. Universidad EAFIT.
- Parrales, K. G., Lino, E., & Hernandez, M. M. (2021). Impresión 3d como eje de desarrollo en la industria 4.0. *Serie científica de la Universidad de las ciencias informáticas*. 14(4), págs. 151-160.
- Portafolio. (15 de Enero de 2022). *Realidad aumentada será tendencia en las empresas en Colombia en 2022*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/tendencias/realidad-aumentada-sera-tendencia-en-las-empresas-en-colombia-en-2022-560578>
- Rama Vitale, C. (2021). *La universidad latinoamericana en la encrucijada de sus tendencias*. Perú: Ediciones Universidad Católica de Salta.
- Rivera, J. A. (20 de Enero de 2024). Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país y revisar los pilares de la Industria 4.0 en las empresas. (V. Morales, Entrevistador)
- Robotika S.A.S. (s.f.). *Nosotros*. Obtenido de <https://robotika.com.co/nosotros/>
- Rozo García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), págs. 177-192.
- Salis, A. M. (2023). *Una arquitectura de referencia basada en Edge-Cloud para respaldar soluciones cognitivas en la industria de procesos*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922022761>
- Santos, C. (9 de Febrero de 2024). Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país y revisar los pilares de la Industria 4.0 en las empresas. (V. Morales, Entrevistador)
- Scanlan, M. (s.f.). *Simulación de manufactura para Industria 4.0*. Obtenido de <https://www.indx.com/es/posts/simulacion-de-manufactura-para-industria-4-0>
- Serna Salazar, K. G. (2 de Febrero de 2024). Definir las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país y revisar los pilares de la Industria 4.0 en las empresas. (V. Morales, Entrevistador)
- Tavcar, J., Duhovnik, J., & Horvath, I. (2018). Towards validation of smart cyber-physical systems. *Proceedings of the twelfth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2018*, 17-26. <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/f38fd611-c57d-4475-a233-5c40ffcf540>.

Universidad del Rosario. (1 de Febrero de 2023). *Cirujanos y estudiantes de medicina y ciencias de la salud se entrenan en simuladores de alta tecnología para garantizar la seguridad de los pacientes*. Obtenido de <https://urosario.edu.co/periodico-nova-et-vetera/nuestra-u/cirujanos-y-estudiantes-de-medicina-y-ciencias-de-la-salud-se-entrenan-en-simuladores>

Zamora, E., Pérez, A. A., Close, J. G., Costa-jussà, M. R., Martínez-Miranda, J., Pérez-Espinosa, H., & Luna-Ramírez, W. A. (2015). *Robots Autónomos: Navegación*. *Komputer Sapiens, Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial*.

Anexos

Enlace de la carpeta de anexos externos: [Anexos externos](#)

Anexo 1: Instrumento de caracterización (entrevista)

Caracterización del panorama de las tecnologías empresariales a nivel país en relación con las aplicaciones de la industria 4.0

GENERALIDADES

Agradecemos sinceramente su participación en esta entrevista, la cual ha sido diseñada para explorar las necesidades tecnológicas en empresas clave de Colombia. Su aporte es vital para entender cómo se integra la tecnología en los procesos empresariales y encontrar oportunidades de desarrollo. La información es confidencial y se usará solo con fines internos de investigación de acuerdo con el consentimiento informado que ha sido socializado previamente: <https://bit.ly/ConsentimientoInformadoEntrevista-I-4-0>.

Para empezar, complete las siguientes generalidades.

Datos Generales de la Empresa

Nombre de la Empresa:

Sector Económico:

- Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida.
- Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Educación; Actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales.
- Industrias manufactureras.
- Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.
- Actividades inmobiliarias

Tamaño de la Empresa:

- Microempresa: personal no superior a 10 colaboradores.
- Pequeña empresa: personal entre 11 y 50 colaboradores.
- Mediana empresa: personal entre 51 y 250 colaboradores.
- Grande empresa: personal superior a 250 colaboradores.

Principales Productos o Servicios:

Años de Operación:

Ciudad de la sede principal:

- Bogotá
- Medellín
- Cali
- Tunja
- Bucaramanga

PARTE I. Identificar las necesidades tecnológicas empresariales a nivel país.

Seleccione la opción que mejor describa la situación actual de la empresa.

1. ¿Qué tan integrada está la tecnología en sus procesos operativos?
 - Nada Integrada
 - Poco Integrada
 - Moderadamente Integrada
 - Muy Integrada

2. ¿Han implementado soluciones de automatización en sus procesos productivos?
 - No se ha considerado esta opción
 - No, pero estamos considerando implementarlo.
 - Sí, en algunos procesos
 - Sí, en la mayoría de los procesos.

3. ¿Qué tan avanzada está la empresa en términos de transformación digital?
 - No se ha iniciado
 - En etapa inicial
 - En proceso de implementación

-
- En una etapa avanzada
4. ¿Utilizan sistemas de gestión empresarial (ERP) para integrar procesos internos?
- No usamos sistemas de este tipo
 - No, pero estamos evaluando su implementación.
 - Sí, pero con limitaciones
 - Sí, y está plenamente integrado
5. ¿Cómo evalúa la infraestructura tecnológica actual de su empresa en términos de soporte para el crecimiento empresarial?
- Muy deficiente
 - Deficiente
 - Aceptable
 - Buena
 - Muy buena
6. ¿Qué obstáculos o limitaciones se han encontrado para la adopción de nuevas tecnologías en la empresa? Seleccione los que apliquen.
- Falta de recursos financieros.
 - Falta de conocimiento técnico
 - Resistencia al cambio.
 - Integración con Sistemas Existentes
 - Complejidad de la Tecnología
 - Otros (Especificar)
7. ¿En qué medida las tecnologías actuales satisfacen las necesidades de su empresa en términos de eficiencia operativa?
- Muy baja
 - Baja
 - Media
 - Alta

-
- Muy alta
8. ¿La empresa está abierta a la incorporación de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar sus procesos?
- Totalmente en desacuerdo
 - En desacuerdo
 - Neutro
 - De acuerdo
 - Totalmente de acuerdo
9. ¿Cuáles considera que son las principales áreas donde la empresa podría beneficiarse de mejoras tecnológicas? (Seleccione todas las que apliquen)
- Procesos productivos y logística
 - Administración
 - Gestión del talento humano
 - Finanzas
 - Analítica y estadística
 - Modelación y simulación
 - Gestión por proyectos
 - Calidad y mejoramiento continuo
 - Otra (especificar)
10. ¿Cuál es el presupuesto destinado a tecnología en la empresa? (Porcentaje en comparación con el presupuesto total de la compañía)
- Menor al 5%.
 - Entre el 5% y el 10%
 - Entre el 10% y el 20%
 - Mayor al 20%

CONCEPTOS:

-
- Realidad aumentada: "La realidad aumentada consiste en combinar el mundo real con el virtual mediante un proceso informático, enriqueciendo la experiencia visual y mejorando la calidad de comunicación" (Cornejo García, 2021).
 - Computación en la nube: Transfiere los datos a alta velocidad, los almacena y gestiona la ventaja que representa en capacidad de respuesta, además de asegurar su disponibilidad desde cualquier parte del mundo proporcionando acceso a internet (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).
 - Seguridad cibernética: También conocida como seguridad de la tecnología de la información (TI), las medidas de ciberseguridad o seguridad cibernética están diseñadas para combatir las amenazas contra sistemas en red y aplicaciones, ya sea que esas amenazas se originen dentro o fuera de una organización (IBM, s. f.).
 - Fabricación aditiva: La fabricación aditiva, conocida también como impresión 3D, consiste en producir piezas a partir de modelos digitales en tres dimensiones. Los fabricantes emplean programas de diseño asistido por computadora (CAD) para crear un modelo digital que luego se divide en capas. La impresora 3D ensambla el objeto colocando estas capas de abajo hacia arriba (Díaz Vizoso, 2018).
 - Big data: Hace referencia al análisis de conjuntos de datos tan extensos que no pueden ser tratados con las técnicas y enfoques convencionales de análisis de datos. En esencia, comprende el conjunto de técnicas que nos posibilitan extraer valor de volúmenes masivos de datos (Jerez González, 2023).
 - El internet de las cosas:(IoT, por sus siglas en inglés) representa la evolución de Internet desde una red de ordenadores interconectados hacia una red de objetos interconectados. En la actualidad, Internet conecta no solo dispositivos como computadoras, sino también una amplia variedad de "objetos" o cosas, que incluyen desde wearables tecnológicos como relojes inteligentes y pulseras, hasta electrodomésticos como refrigeradores y aspiradoras, así como televisores, consolas de videojuegos, automóviles y elementos de edificación como cerraduras, termostatos, bombillas, cámaras de seguridad, controles de acceso y sensores de temperatura (Moisés Barrio, 2021).
 - Simulación: La palabra "simulación" se define como "la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo". Ponderando esta definición, es fácil entender por qué la simulación es ubicua en organizaciones de ingeniería e

industriales; el imitar un proceso o sistema del mundo real permite a los expertos estudiar el proceso o sistema en el que están interesados dentro de un ambiente controlado y repetible (Scanlan, s. f.).

- Integración de sistemas horizontales y verticales: En el contexto de estrategias de crecimiento empresarial, la integración horizontal implica la adquisición de empresas que sirven a la misma base de clientes con productos o servicios complementarios pero diferentes. Esto permite a la empresa adquirente ampliar su presencia en el mercado y diversificar su oferta de productos. En cambio, una estrategia de crecimiento vertical implica la adquisición de empresas que aporten nuevas capacidades para reducir costos de fabricación, garantizar acceso a suministros cruciales y responder ágilmente a nuevas oportunidades de mercado. En términos de producción, la integración horizontal se refiere a la interconexión efectiva de procesos dentro de la fase de fabricación. Por otro lado, la integración vertical indica una estrecha coordinación de la planta con procesos de nivel superior, como compras y control de calidad (CampusMVP, 2021).
- Robótica: Los robots aumentan el nivel de eficiencia de las líneas de producción y optimizan el sistema. Para lograr este flujo eficiente, es necesario establecer relaciones entre la generación de acciones en los robots y los sistemas de gestión de la información, que representan un contexto de integración de tecnologías u objetos físicos (Abarca, Bahena, & Urbano, 2020).

PARTE 2: Revisar los pilares de la industria 4.0 en las empresas – disponible en el instrumento online.

Responda las preguntas considerando los anteriores conceptos.

1. ¿Cuál es el nivel de aplicación de cada pilar dentro de su empresa?
Se agrega definiciones (recurso aparte y dentro del instrumento online)

Tabla 15

Calificación de nivel de aplicación de los pilares en la empresa.

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Realidad aumentada					
Computación en la nube					
Seguridad cibernética					
Fabricación aditiva					

Big data
El internet de las cosas
Simulación
Integración de sistemas horizontales y verticales
Robótica

2. ¿Consideraría la empresa invertir en nuevas tecnologías de los pilares de la industria 4.0 en el corto, mediano y largo plazo?

Tabla 16

Plazo de inversión en nuevas tecnologías

	No Invertiría	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Realidad aumentada				
Computación en la nube				
Seguridad cibernética				
Fabricación aditiva				
Big data				
El internet de las cosas				
Simulación				
Integración de sistemas horizontales y verticales				
Robótica				

3. Desde su perspectiva, ¿Cuáles son las habilidades, competencias y conocimientos requeridos en los profesionales de ingeniería industrial y afines para apoyar la implementación y gestionar las nuevas tecnologías asociadas a los pilares de la industria 4.0 en su empresa?

Anexo 2: Formato de consentimiento informado de participación en entrevista | industria 4.0

Usted ha sido invitado a participar del proyecto de investigación titulado "Ambiente Learning Factory 4.0 como dinamizador de la gestión eficiente de tecnologías empresariales colombianas, en el contexto de la industria 4.0"

Como parte de una de las empresas pertenecientes a los cinco sectores con mayor crecimiento anual en el 2023 y ubicada en las cinco ciudades con más alto índice de competitividad para el mismo año, su participación permitirá definir el pilar de la industria 4.0 que genera mayor competitividad y aumento de la productividad en los sectores económicos. Este proyecto no tiene una finalidad comercial. Su participación en esta investigación no tiene ninguna recompensa material o económica y usted es libre de no participar o de retirarse cuando lo desee. Sus opiniones y aportes a esta investigación se usarán exclusivamente para este proyecto y se archivarán de manera segura. Si lo desea, puedo hacerle llegar copia de la transcripción para que usted pueda revisarla y corregirla si lo considera necesario. Si usted lo prefiere, su nombre no aparecerá en mi publicación. Mi proyecto de investigación quedará a disposición del público en la biblioteca de la Universidad de Antioquia y si lo prefiere, podría enviarle una copia del proyecto una vez finalizado.

Si está de acuerdo en participar en este proyecto por favor escriba SI o NO en cada una de las casillas y escriba su nombre y datos de contacto.

Tabla 17

Formato consentimiento informado

[]	Acepto participar de manera libre y voluntaria en este proyecto y entiendo que no recibiré recompensa material o económica y que puedo retirarme cuando lo desee
[]	Autorizo a que la tesis o las publicaciones derivadas de esta investigación incluyan fotografías en las que yo aparezco
[]	Autorizo a que grabe la entrevista y tome apuntes durante la misma
[]	Solicito que me haga llegar copia de la transcripción de mi entrevista
[]	Solicito que no revele mi nombre y si mis opiniones son citadas solicito que se haga de manera anónima
[]	Autorizo que mi nombre aparezca en la tesis o las publicaciones resultantes para mencionar que participé en esta investigación o cuando mis opiniones sean citadas
[]	Solicito que me haga llegar copia de la tesis o de las publicaciones que se deriven de esta investigación.

Nombre:

Cédula de ciudadanía:

Fecha:

Correo electrónico:

Celular: