

# **La Automatización en Pymes: Brechas Tecnológicas en la Industria 4.0 en Cartagena - Colombia**

## **Automation in SMEs: Technology Gaps in Industry 4.0 in Cartagena - Colombia**

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.7.1.2025.08>

Fecha de recepción: 24/03/2025. Fecha de publicación: 01/04/2025

### **Germán Herrera-Vidal**

Universidad del Sinú, Escuela de Ingeniería Industrial, Seccional Cartagena, Colombia  
[gherrerav@unisinucartagena.edu.co](mailto:gherrerav@unisinucartagena.edu.co)

### **Leonardo J. Olarte-Jiménez**

Universidad del Sinú, Escuela de Ingeniería Industrial, Seccional Cartagena, Colombia  
[leonardo.olarte@unisinu.edu.co](mailto:leonardo.olarte@unisinu.edu.co)

### **Jairo Blanco-Camacho**

Universidad del Sinú, Escuela de Ingeniería Industrial, Seccional Cartagena, Colombia  
[jairoblanco@unisinu.edu.co](mailto:jairoblanco@unisinu.edu.co)

### **Cielo E. Marriaga-González**

Universidad del Sinú, Escuela de Ingeniería Industrial, Seccional Cartagena, Colombia  
[investigacionindustrial@unisinucartagena.edu.co](mailto:investigacionindustrial@unisinucartagena.edu.co)

**Como citar en IEEE este artículo:** Autor 1 y otros, «La Automatización en Pymes: Brechas Tecnológicas en la Industria 4.0 en Cartagena - Colombia», *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, vol. 7. No. 1, pp. 80-91, 2025. Online. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/6363>

## **Resumen**

La automatización y la Industria 4.0 son claves para la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (Pymes), pero su adopción sigue siendo limitada en economías emergentes. En Cartagena - Colombia, las brechas tecnológicas dificultan la transformación digital, afectando sectores como manufactura, logística y petroquímica. Infraestructura deficiente, acceso restringido a financiamiento y escasez de talento especializado son los principales obstáculos. Esta investigación busca identificar los desafíos y oportunidades en la adopción de la automatización en las Pymes de Cartagena, proporcionando insumos para estrategias de modernización. La metodología incluyó (i) Una revisión documental, (ii) aplicación de un instrumento tipo encuestas a 87 Pymes y (iii) Evaluación de estrategias de adopción. Los resultados revelan limitaciones en infraestructura digital,

formación técnica y financiamiento, pero también oportunidades en alianzas público-privadas e incentivos fiscales. Se concluye que superar estas barreras requiere inversión en tecnología, capacitación especializada y políticas de apoyo para fortalecer la competitividad de las Pymes en la Cuarta Revolución Industrial.

**Palabras clave:** Automatización, Industria 4.0, Pymes, Brechas tecnológicas

### **Abstract**

Automation and Industry 4.0 are key to the competitiveness of small and medium-sized enterprises (SMEs), but their adoption remains limited in emerging economies. In Cartagena, Colombia, technology gaps hinder digital transformation, affecting sectors such as manufacturing, logistics, and petrochemicals. Poor infrastructure, restricted access to finance, and a shortage of specialized talent are the main obstacles. This research seeks to identify the challenges and opportunities in the adoption of automation in SMEs in Cartagena, providing inputs for modernization strategies. The methodology included (i) a desk review, (ii) application of a survey instrument to 87 SMEs, and (iii) assessment of adoption strategies. The results reveal limitations in digital infrastructure, technical training, and financing, but also opportunities in public-private partnerships and fiscal incentives. It is concluded that overcoming these barriers requires investment in technology, specialized training, and support policies to strengthen the competitiveness of SMEs in the Fourth Industrial Revolution.

**Keywords:** Automation, Industry 4.0, Industry 4.0, SMEs, Technology gaps

### **Introducción**

La automatización y la transformación digital han redefinido la estructura productiva global, impulsando un nuevo paradigma de manufactura basado en la interconectividad, la inteligencia artificial y los sistemas ciberfísicos [1]. En este contexto, la Industria 4.0 se ha consolidado como un eje central de la competitividad industrial, permitiendo la optimización de procesos mediante tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de datos en tiempo real y la robótica colaborativa [2]. Sin embargo, su adopción en pequeñas y medianas empresas (Pymes) sigue siendo un desafío, debido a la falta de capacidades organizativas, restricciones financieras y una infraestructura tecnológica insuficiente [3].

Las Pymes representan una parte significativa del tejido empresarial en economías emergentes como Colombia, donde constituyen cerca del 80% de las empresas y generan más del 60% del empleo [4]. No obstante, enfrentan brechas tecnológicas que limitan su integración con la Industria 4.0, lo que se traduce en menor eficiencia operativa, dificultades en la automatización de procesos y rezago en la digitalización [5]. En particular, regiones como Cartagena, con una fuerte presencia de sectores industriales, logísticos y turísticos, requieren estrategias específicas para la modernización tecnológica de sus Pymes y su alineación con las tendencias globales de automatización [6].

A pesar de las barreras, la automatización en la Industria 4.0 ofrece oportunidades estratégicas para las Pymes, como la optimización de la cadena de suministro, la reducción de costos operativos y la mejora de la calidad productiva [7]. No obstante, su implementación requiere políticas de apoyo, capacitación especializada y acceso a financiamiento para superar las limitaciones estructurales que enfrentan estas empresas [8].

Esta investigación tiene como objetivo analizar las brechas tecnológicas existentes en la adopción de la automatización en las Pymes dentro del marco de la Industria 4.0 en Colombia, con un enfoque particular en la ciudad de Cartagena. A través de una revisión de la literatura y un análisis desde la práctica, con el fin de identificar los factores críticos que afectan la transformación digital de estas empresas y proponer estrategias que faciliten su integración en el ecosistema industrial moderno.

### **Estado de Arte**

Industria 4.0 es un concepto que engloba la transformación digital de los procesos productivos mediante tecnologías avanzadas como IoT, inteligencia artificial y sistemas ciberfísicos, permitiendo una interacción en

tiempo real entre los sistemas físicos y digitales [9][10]. Esta digitalización mejora la eficiencia, competitividad y gestión de datos, facilitando una producción flexible y eficiente a través de fábricas inteligentes y automatización avanzada [11][12]. Asimismo, la integración de tecnologías como big data y la digitalización del ciclo de vida del producto impulsan la personalización masiva y transforman radicalmente las operaciones empresariales, optimizando el desempeño industrial [13-15].

Para la transformación de las pequeñas y mediana empresas (Pymes), la industria 4.0 impulsa la digitalización de procesos, mejorando la flexibilidad y eficiencia mediante tecnologías como IoT y la nube [16]. Su adopción permite operaciones más sostenibles, aunque enfrenta barreras operativas y financieras [17], así como la falta de experiencia para rediseñar modelos de negocio [18]. Además, promueve la conectividad y competitividad empresarial [19], pero requiere de un marco adecuado para maximizar su potencial [20]. Estas tecnologías mejoran la sostenibilidad [21] y la eficiencia en sectores como la construcción [22]. Modelos metodológicos ayudan a evaluar la preparación y beneficios para las Pymes, optimizando la gestión y cadena de suministro [23][24], aunque persisten desafíos mayores en comparación con grandes empresas [25].

**Tabla 1.** Tecnologías y metodologías aplicadas en industria 4.0

<b>Autor(es)</b>	<b>Tecnologías</b>	<b>Metodología</b>
Frank, A. et al. (2019)[26]	Smart Manufacturing, productos inteligentes, cadena de suministro inteligente, trabajo inteligente, IoT	Conceptualización y encuestas en empresas manufactureras
Dalenogare, L. et al. (2018)[27]	IoT, conectividad de productos, integración de procesos verticales y horizontales	Análisis de regresión sobre datos secundarios de sectores industriales
Bai, C. et al. (2020)[28]	IoT, simulación, drones, big data	Evaluación multicriterio y análisis de impacto en sostenibilidad
Xu, L. et al. (2018)[29]	Sistemas ciberfísicos, IoT, computación en la nube	Revisión de la literatura y análisis de tendencias tecnológicas
Olsen, T., & Tomlin, B. (2020)[10]	Inteligencia artificial, manufactura aditiva, blockchain	Revisión crítica de tecnologías emergentes en gestión de operaciones
Öztemel, E., & Gursev, S. (2020)[12]	IoT, sistemas ciberfísicos, robótica avanzada, manufactura digital	Revisión de literatura y clasificación de tecnologías
Zhou, M. (2019)[30]	IA, big data, IoT	Ejemplos prácticos y casos de estudio en manufactura inteligente
Lu, Y. (2017)[31]	IoT, CPS, EA, big data	Revisión exhaustiva y análisis de interoperabilidad
Zheng, T. et al. (2021)[32]	IoT, big data, computación en la nube	Revisión sistemática de literatura y análisis de aplicaciones tecnológicas
Rane, S. et al. (2022)[33]	IA, IoT, big data, blockchain	Revisión de tecnologías emergentes y dirección de investigación futura

La tabla 1 presenta una sinterización de las principales investigaciones sobre las tecnologías y metodologías asociadas con la Industria 4.0. Este resumen incluye estudios clave que abordan el impacto de estas tecnologías en diversos sectores industriales, destacando las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, la manufactura inteligente y los sistemas ciberfísicos, entre otros. Además, se especifican las metodologías empleadas en cada estudio, desde revisiones de literatura hasta análisis de regresión y estudios de casos prácticos, proporcionando una visión integral sobre cómo la Industria 4.0 está transformando los modelos productivos y operacionales en el ámbito industrial.

Por otro lado, la automatización industrial se define como la aplicación de tecnologías avanzadas para optimizar procesos productivos, mejorar la eficiencia operativa y reducir errores en la manufactura. En sus inicios, se basaba en sistemas programables y controladores lógicos (PLC) para la automatización fija y programable [34][35]. Con el tiempo, ha evolucionado hacia modelos más flexibles e inteligentes, integrando robots industriales, visión artificial y sensores interconectados, lo que permite procesos más precisos y adaptativos [36][37]. La

digitalización ha potenciado la automatización mediante la adopción de arquitecturas basadas en servicios digitales y microservicios, facilitando la escalabilidad y la interoperabilidad en entornos industriales [38]. Asimismo, la incorporación de inteligencia artificial (IA) y modelado predictivo ha permitido una optimización continua de la producción mediante el análisis de datos en tiempo real [39]. En este sentido, la automatización industrial no solo busca reemplazar la intervención humana, sino también mejorar la calidad, la seguridad y la eficiencia en la manufactura moderna [40][41].

La evolución de la automatización industrial ha convergido con el paradigma de Industria 4.0, dando paso a ecosistemas inteligentes, interconectados y autónomos. La integración de tecnologías emergentes, como Internet Industrial de las Cosas (IIoT), Big Data y la computación en la nube, ha permitido que los sistemas de automatización sean más adaptativos y predictivos [41][42]. La automatización ya no es solo una cuestión de eficiencia operativa, sino que se ha convertido en un modelo de manufactura inteligente, donde sensores, actuadores y sistemas ciberfísicos trabajan en conjunto para optimizar la producción en tiempo real [35][43]. Además, la automatización en la Industria 4.0 ha introducido la servitización industrial, permitiendo que los procesos de producción operen como servicios digitalizados, lo que genera mayor flexibilidad y escalabilidad en la manufactura [38]. En este contexto, la interconexión de sistemas, la analítica avanzada y la capacidad de autoaprendizaje de las máquinas están redefiniendo el futuro de la producción, impulsando la transformación digital en las industrias globales [39][40].

El documento está organizado como sigue: La sección 2 presenta la metodología de investigación propuesta. La Sección 3 evidencia los resultados obtenidos mediante la aplicación de diferentes métodos y herramientas. La sección 4 describe las conclusiones, que incluyen los resultados relevantes de la investigación.

## **Metodología**

Este estudio adoptó un enfoque cualitativo y exploratorio, estructurado en tres etapas clave para analizar las brechas, desafíos y oportunidades de la automatización en las Pymes en el contexto de la Industria 4.0 en Cartagena. En la primera etapa, se realizó una revisión utilizando bases de datos académicas de alto impacto como Scopus, complementada con fuentes secundarias como informes gubernamentales y reportes industriales. Este análisis permitió identificar las principales brechas tecnológicas y barreras de adopción de la automatización industrial en Pymes a nivel nacional e internacional. En la segunda etapa, se llevó a cabo un análisis documental de estudios previos y casos de éxito específicos en Cartagena, con énfasis en sectores estratégicos como manufactura, logística portuaria y empresas de servicios. Se aplicó un enfoque comparativo para evaluar factores críticos de éxito y limitaciones en la implementación de la Industria 4.0 en el contexto local. Finalmente, en la tercera etapa, se desarrolló un análisis empírico basado en un instrumento diagnóstico aplicado a 87 Pymes de Cartagena. El cuestionario, diseñado con una estructura de respuesta mixta (preguntas cerradas y abiertas), permitió identificar los principales desafíos, oportunidades y estrategias para cerrar las brechas tecnológicas y fomentar la adopción de la automatización e Industria 4.0. Los datos fueron analizados mediante técnicas de análisis de contenido y categorización, asegurando la validez de los hallazgos y su aplicabilidad en el desarrollo de políticas de modernización industrial.

## **Resultados**

La automatización industrial y la Industria 4.0 han transformado el panorama productivo global, impulsando la integración de inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT) y sistemas ciberfísicos en los procesos industriales. Para las pequeñas y medianas empresas (Pymes), esta revolución tecnológica representa una oportunidad para optimizar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la competitividad, pero también plantea desafíos significativos en términos de adopción tecnológica, infraestructura y formación de capital humano. En economías en desarrollo como Colombia, la transición hacia la automatización sigue siendo desigual, con brechas tecnológicas y barreras de implementación que limitan la digitalización de los procesos productivos. Este estudio analiza el impacto de la automatización y la Industria 4.0 en las PYMES colombianas, con un enfoque particular en la ciudad de Cartagena, identificando las principales brechas, desafíos, oportunidades y estrategias para su integración efectiva en el ecosistema industrial moderno.

## **1. Contexto nacional**

En Colombia, la adopción de la Industria 4.0 por parte de las PYMES enfrenta desafíos significativos, principalmente debido a la falta de acceso a financiamiento adecuado, la limitada infraestructura tecnológica y la escasez de capital humano capacitado. Aunque el gobierno ha impulsado programas como el Plan Nacional de Desarrollo para incentivar la digitalización, los resultados han sido limitados. La mayoría de las PYMES continúan operando con tecnologías tradicionales, lo que reduce su competitividad en el mercado global. No obstante, las empresas que han adoptado tecnologías como la automatización y el IoT han experimentado mejoras sustanciales en su eficiencia operativa y reducción de costos, lo que resalta la importancia de una mayor inversión en formación y tecnología para acelerar la transformación digital del sector [44][45].

En los últimos años, Colombia ha experimentado avances en la automatización industrial, impulsados por iniciativas de transformación digital y modernización productiva. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías presenta desafíos significativos. En 2023, la producción industrial del país registró una disminución del 4,9%, contrastando con los incrementos del 16% y 11% observados en 2021 y 2022, respectivamente. Este descenso refleja una adaptación a la menor demanda interna y externa, influenciada por políticas monetarias destinadas a controlar la inflación y una reducción del 3,8% en las exportaciones manufactureras [46]. A pesar de este contexto, el tejido empresarial colombiano ha mostrado resiliencia. En 2023, el número total de empresas activas alcanzó un récord histórico de 1.740.168, lo que representa un crecimiento del 0,2% en comparación con 2022. Bogotá concentró más del 24% de estas empresas, seguida de Antioquia (13%), Valle del Cauca (8,9%) y Cundinamarca (6,7%) [47].

## **2. Contexto local**

Cartagena, como principal centro industrial y portuario del Caribe colombiano, presenta un potencial significativo para el desarrollo de la Industria 4.0 en sus Pymes, especialmente en sectores como la manufactura y la logística. Sin embargo, al igual que en el contexto nacional, la limitada infraestructura digital y la falta de capacitación en tecnologías emergentes ralentizan su adopción. A pesar de esto, las empresas locales que han comenzado a implementar tecnologías avanzadas reportan mejoras en la productividad y en la eficiencia de sus procesos, destacando a Cartagena como un foco emergente de innovación industrial. La integración de la Industria 4.0 en las PYMES de la ciudad tiene el potencial de fortalecer su competitividad, tanto a nivel nacional como internacional, siempre que se subsanen las brechas tecnológicas y educativas existentes [48-50]. La ciudad de Cartagena, como epicentro industrial de la región Caribe colombiana, enfrenta el desafío de integrar tecnologías de la Industria 4.0 en sus pequeñas y medianas empresas (Pymes). Sin embargo, estudios recientes indican que la adopción de tecnologías avanzadas en estas empresas es limitada, debido a factores como la falta de infraestructura adecuada, recursos financieros insuficientes y carencias en la capacitación del capital humano [51].

Otra situación similar, se presenta desde el campo de la automatización, aunque existen iniciativas para promover su implementación, muchas Pymes aún no han podido ejecutar plenamente estas tecnologías, lo que limita su competitividad en mercados globalizados. La integración efectiva de sistemas ciberfísicos, robótica avanzada y análisis de datos en tiempo real es esencial para que las empresas cartageneras puedan mejorar su eficiencia operativa y responder a las demandas de la economía digital. Es crucial que se fortalezcan las políticas públicas y las alianzas entre el sector privado y académico para facilitar la transición hacia la automatización industrial en la región.

## **3. Brechas, Desafíos y Oportunidades**

Cartagena, enfrenta desafíos significativos en la adopción de la automatización industrial y la Industria 4.0 en sus pequeñas y medianas empresas (Pymes). Estas empresas, que constituyen una parte esencial del tejido empresarial local, se enfrentan a diversas brechas tecnológicas y barreras que dificultan su transformación digital. La tabla 2 resume las principales brechas, desafíos y oportunidades que enfrentan en la adopción de la Industria 4.0, tanto a nivel nacional como local.

**Tabla 2.** Brechas, desafíos y oportunidades en la adopción de la Industria 4.0

Categoría	Brechas	Desafíos	Oportunidades
<b>Nacional (Colombia)</b>	Limitado acceso a financiamiento para tecnologías avanzadas (Ladino & Briceño, 2021)[44].	Aumentar el acceso a financiamiento para PYMES, permitiendo la adquisición de tecnología 4.0.	Mejora en la competitividad de las PYMES que implementan tecnologías 4.0, permitiendo reducción de costos y mayor eficiencia (Semana, 2023)[45].
	Falta de infraestructura tecnológica adecuada (Semana, 2023)[45].	Implementar programas de formación masiva para el capital humano.	Potencial de inserción en mercados internacionales más competitivos.
	Escasez de personal capacitado en tecnologías digitales (Caracol, 2022)[52].	Promover políticas públicas que impulsen la digitalización (Ladino & Briceño, 2021)[44].	
<b>Local (Cartagena)</b>	Desigualdad en el acceso a infraestructura digital, especialmente en zonas menos industrializadas (Cartagena, 2022)[49].	Superar la brecha tecnológica entre PYMES y grandes empresas.	Convertir a Cartagena en un referente de transformación digital en el Caribe colombiano, con foco en la manufactura y la logística portuaria.
	Falta de capacitación especializada en Industria 4.0 (Caracol, 2022)[52].	Fortalecer la formación técnica de la mano de obra local.	Crecimiento de la competitividad local y el acceso a mercados globales (Colombiano, 2021)[48]; Cartagena, 2022) [49].
		Fomentar la inversión en infraestructuras tecnológicas para reducir desigualdades (Colombiano, 2021)[48].	

Por otro lado, en la tabla 3 se evidencian las principales brechas, desafíos y oportunidades que enfrentan las Pymes en la adopción de la automatización inteligente, tanto a nivel nacional (Colombia) como local (Cartagena).

**Tabla 3.** Brechas, desafíos y oportunidades en la adopción de la automatización inteligente

Categoría	A Nivel Nacional (Colombia)	A Nivel Local (Cartagena)
Brechas Tecnológicas	Infraestructura tecnológica deficiente en zonas rurales y periféricas. DNP (2024) [46]; MinTIC (2024)[47]	Acceso limitado a redes industriales y baja inversión en TIC en PYMES cartageneras.
	Baja penetración de herramientas digitales y sistemas de automatización en PYMES. MinCIT (2023)[53]; ANDI (2023)[54]	Desactualización tecnológica en sectores tradicionales como manufactura y logística.
	Déficit de integración de Industria 4.0 en procesos productivos. OCDE (2022)[55]; DNP (2024)[46]	Resistencia al cambio en industrias locales con estructuras de producción manuales.
Desafíos	Falta de capital humano especializado en tecnologías de automatización. MinEducación (2023)[56]; ANDI (2023)[54]	Escasez de programas de formación técnica en automatización en instituciones locales.
	Dificultad para acceder a financiamiento para inversión en nuevas tecnologías. Banco de la República (2023)[57]	Restricciones de crédito y falta de incentivos fiscales para PYMES en Cartagena.

	Regulación y políticas públicas insuficientes para impulsar la transformación digital. DNP (2024)[46]; Invest in Cartagena (2023)[58]	Falta de estrategias locales de digitalización e incentivos municipales.
Oportunidades	Iniciativas de reindustrialización y fomento a la digitalización en PYMES. MinCIT (2024)[47]; ANDI (2023)[54]	Programas de cooperación entre el sector público y privado para modernización.
	Crecimiento de la Industria 4.0 en sectores estratégicos como manufactura y logística. Invest in Cartagena (2023)[58]; OCDE (2022)[55]	Cartagena como hub logístico con potencial de digitalización en puertos y comercio.
	Alianzas entre universidades y empresas para fortalecer la formación en automatización. MinEducación (2023)[56]; SENA (2024)[59]	Expansión de la oferta educativa en formación técnica y digitalización industrial.

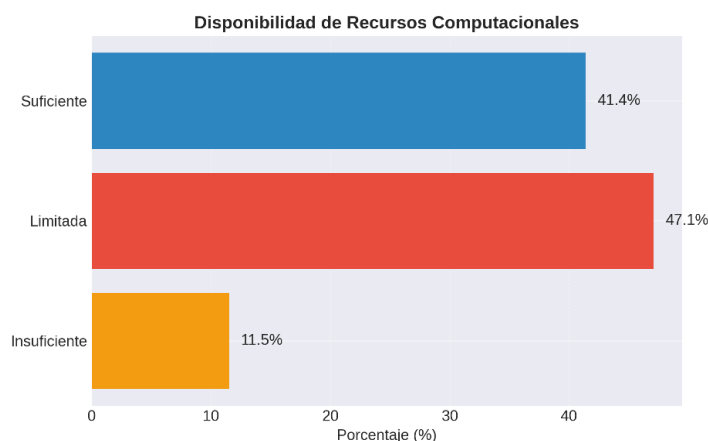
#### 4 Adopción de la Automatización y la Industria 4.0 en las Pymes de Cartagena

Los resultados de la encuesta aplicada a una muestra de 87 Pymes en Cartagena, pertenecientes a sectores como industria alimentaria, metalmecánica y manufactura, madera y derivados, química y petroquímica, textil y confección, infraestructura y construcción, así como transporte y automotriz, revelan barreras críticas en la adopción de tecnologías de automatización e Industria 4.0. Estas barreras pueden agruparse en tres dimensiones principales: infraestructura tecnológica, disponibilidad de talento especializado y factores organizacionales, afectando de manera diferenciada a cada sector según sus particularidades y nivel de madurez tecnológica.

- **Infraestructura Tecnológica y Recursos Computacionales**

La figura 1 muestra que el 47,1% de las empresas considera que sus recursos computacionales para la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 son limitados, mientras que un 11,5% los califica como insuficientes.

*Figura 1. Resultado sobre la infraestructura tecnológica y recursos computacionales*

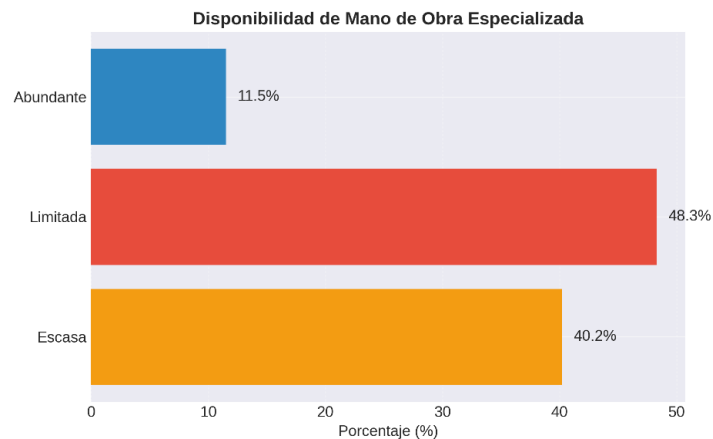


Esto indica que más de la mitad de las empresas enfrentan dificultades en el acceso a hardware y software adecuados. A pesar de esto, un 41,4% reporta contar con recursos suficientes, lo que sugiere que algunas empresas han logrado avanzar en la digitalización, aunque la mayoría sigue rezagada. Este resultado concuerda con estudios previos sobre la digitalización en Pymes de economías emergentes, donde la inversión en infraestructura tecnológica sigue siendo una barrera determinante [60][61]. Sin un acceso adecuado a tecnologías computacionales avanzadas, la adopción de la automatización inteligente se ralentiza y limita el impacto positivo de la Industria 4.0 en la productividad y eficiencia.

- **Disponibilidad de Talento Especializado**

La figura 2 refleja una brecha crítica en la formación y disponibilidad de talento. Solo el 11,5% de las empresas reporta una oferta abundante de mano de obra especializada, mientras que el 48,3% la califica como limitada y el 40,2% como escasa.

*Figura 2. Resultado sobre disponibilidad de talento especializado*

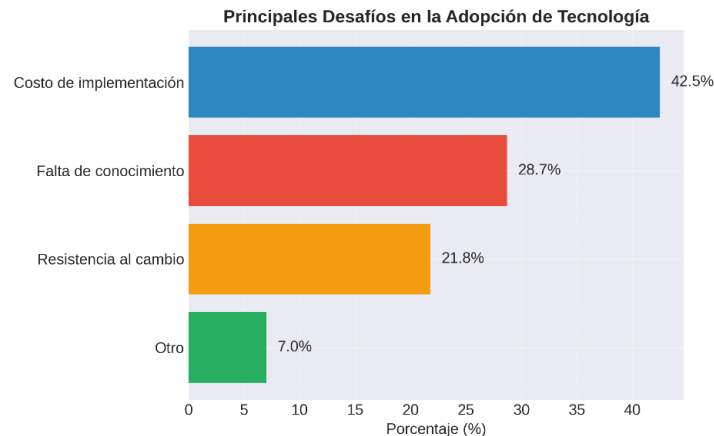


La falta de personal capacitado es una barrera estructural en la transformación digital de las Pymes, dado que la adopción de tecnologías avanzadas requiere habilidades en automatización, análisis de datos y gestión de sistemas ciberfísicos. Estos hallazgos coinciden con investigaciones que destacan que la escasez de talento en automatización e Industria 4.0 es una de las principales limitantes para la digitalización de las PYMES en América Latina [62][63]. Esto resalta la necesidad de programas de formación especializada y alianzas estratégicas con universidades y centros tecnológicos para cerrar la brecha de habilidades.

- **Principales Desafíos en la Adopción de Tecnología**

La figura 3 muestra que el costo de implementación es el principal desafío para el 42,5% de las empresas, seguido de la falta de conocimiento sobre tecnologías específicas (28,7%) y la resistencia al cambio (21,8%). Esto indica que, además de las limitaciones en infraestructura y talento, existen barreras económicas y culturales que obstaculizan la automatización industrial. Estos resultados son consistentes con estudios previos que identifican los altos costos iniciales y la falta de conocimiento como los principales obstáculos en la transición a la Industria 4.0 en Pymes [64][65]. La resistencia al cambio, aunque menos predominante, sigue siendo un desafío importante, lo que sugiere la necesidad de estrategias de gestión del cambio organizacional para facilitar la adopción de nuevas tecnologías.

*Figura 3. Resultado sobre principales desafíos en la adopción de tecnología*



## Conclusiones

La adopción de la Industria 4.0 en las Pymes colombianas se enfrenta a múltiples brechas que limitan su capacidad para implementar tecnologías avanzadas. Entre las principales barreras identificadas están el acceso restringido a financiamiento, la infraestructura tecnológica inadecuada y la escasez de personal capacitado. Estas brechas generan desafíos importantes, como la necesidad de diseñar políticas públicas que faciliten el acceso a créditos y financiamiento para innovación tecnológica, y la implementación de programas de capacitación masiva en competencias digitales y tecnológicas. Sin embargo, a pesar de estas barreras, las oportunidades son claras: las empresas que han logrado integrar tecnologías de la Industria 4.0 reportan mejoras notables en eficiencia operativa y competitividad. Esto evidencia que, con los incentivos adecuados, las Pymes podrían aprovechar estas tecnologías para fortalecer su posición en el mercado tanto nacional como internacional [44][45].

En Cartagena, aunque las condiciones para la adopción de la Industria 4.0 son similares a las del contexto nacional, se observan desafíos específicos, como la desigualdad en el acceso a infraestructura digital y la falta de formación especializada en la ciudad. A pesar de estos retos, Cartagena tiene un enorme potencial para consolidarse como un centro regional de transformación digital, dado su papel estratégico como ciudad portuaria y su industria manufacturera. Las oportunidades en Cartagena están directamente vinculadas con la integración de tecnologías avanzadas en sectores clave como la logística portuaria y la manufactura. Para que esto suceda, es necesario que tanto el gobierno como el sector privado trabajen en conjunto para cerrar las brechas tecnológicas y fomentar el desarrollo de programas de formación continua y acceso a recursos tecnológicos. Esto permitirá que las Pymes locales incrementen su competitividad y se inserten en mercados globales más exigentes [48][49].

Los hallazgos de este estudio evidencian que la adopción de la automatización industrial y la Industria 4.0 en las Pymes de Cartagena enfrenta desafíos estructurales significativos, especialmente en términos de infraestructura tecnológica, financiamiento y disponibilidad de talento especializado. La falta de inversión en tecnologías digitales y la limitada conectividad industrial restringen la transformación productiva a nivel nacional, mientras que en Cartagena estas brechas son aún más marcadas, afectando sectores como industria alimentaria, metalmecánica, manufactura, madera y derivados, química y petroquímica, textil y confección, infraestructura y construcción, transporte y automotriz.

Para cerrar estas brechas y fomentar la modernización industrial, es crucial:

- Implementar políticas públicas y esquemas de financiamiento que faciliten la adquisición e integración de tecnologías en las Pymes.
- Fortalecer programas de educación técnica, profesional y formación en habilidades digitales avanzadas, adaptados a las necesidades específicas de cada sector.
- Promover incentivos económicos, como subsidios o beneficios fiscales, para acelerar la adopción de herramientas digitales y automatización.
- Desarrollar estrategias de gestión del cambio, enfocadas en reducir la resistencia organizacional a la transformación digital y en mejorar la cultura de innovación dentro de las empresas.

- Fomentar alianzas público-privadas y programas de reindustrialización, que impulsen la digitalización y la modernización del sector productivo en la región.
- Estos resultados destacan la necesidad de intervenciones estratégicas para fortalecer la competitividad de las Pymes mediante la automatización y la Industria 4.0, asegurando su sostenibilidad en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

## Referencias

1. Menon, S., & Shah, S. (2020, January). Are SMEs ready for industry 4.0 technologies: An exploratory study of i 4.0 technological impacts. In 2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM) (pp. 203-208). IEEE.
2. Łabędzka, J. (2021). Industry 4.0—policy-based approaches to efficient implementation in SMEs. *Engineering Management in Production and Services*, 13(4).
3. Velásquez, J. D., Estévez, E., & Salazar, L. (2019). Methodological framework based on digital technologies for the transformation of SMEs into smart enterprises.
4. Zambon, I., Egidi, G., Rinaldi, F., & Cividino, S. (2019). Applied research towards industry 4.0: Opportunities for SMEs. *Processes*, 7(6), 344.
5. Villa, A., & Taurino, T. (2019). SME Innovation and Development in the Context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 39, 1415-1420.
6. Jayashree, S., Malarvizhi, C. A., & Reza, M. N. H. (2020). The impact of the determinants of fourth industrial revolution on competitive advantage and sustainability—a study for Malaysian SMEs. *Asia Proceedings of Social Sciences*, 6(3), 283-289.
7. Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs—A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*, 4(3), 76-84.
8. Muhamad, M. Q. B., Syed Mohamad, S. J. A. N., & Mat Nor, N. (2021). Technological-organisational-environmental (TOE) framework in industry 4.0 adoption among SMEs in Malaysia: An early outlook. *ASEAN Entrepreneurship Journal (AEJ)*, 7(1), 13-19.
9. Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617. Doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107617.
10. Olsen, T. L., & Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 113-122. Doi: 10.2139/ssrn.3365733
11. Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, 10(10), 3821. Doi: 10.3390/SU10103821
12. Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, 31(1), 127-182. Doi: 10.1007/S10845-018-1433-8
13. Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 607-617. Doi: 10.1002/sres.2704
14. Rupp, M., Schneckenburger, M., Merkel, M., Börret, R., & Harrison, D. K. (2021). Industry 4.0: A technological-oriented definition based on bibliometric analysis and literature review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 68. Doi: 10.3390/JOITMC7010068
15. Perales, D. P., Valero, F. A., & García, A. B. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. Closing the gap between practice and research in industrial engineering, 343-350. Doi: 10.1007/978-3-319-58409-6\_38.
16. Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International journal of production research*, 56(3), 1118-1136. Doi: 10.1080/00207543.2017.1372647
17. Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, 275, 124063. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124063
18. Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384-1400. Doi: 10.1080/00207543.2019.1636323
19. Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological forecasting and social change*, 132, 2-17. Doi: 10.1016/J.TECHFORE.2017.12.019

20. Zambon, I., Egidi, G., Rinaldi, F., & Cividino, S. (2019). Applied research towards industry 4.0: Opportunities for SMEs. *Processes*, 7(6), 344. Doi: 10.3390/PR706034.
21. Haseeb, M., Hussain, H. I., Ślusarczyk, B., & Jermsittiparsert, K. (2019). Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance. *Social Sciences*, 8(5), 154. Doi: 10.3390/SOCSCI8050154
22. Nowotarski, P., & Paslawski, J. (2017). Industry 4.0 concept introduction into construction SMEs. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 245, No. 5, p. 052043). IOP Publishing. Doi: 10.1088/1757-899X/245/5/052043
23. Amaral, A., & Peças, P. (2021). A framework for assessing manufacturing SMEs Industry 4.0 maturity. *Applied Sciences*, 11(13), 6127. Doi: 10.3390/app11136127
24. Bär, K., Herbert-Hansen, Z. N. L., & Khalid, W. (2018). Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. *Production Engineering*, 12(6), 747-758. Doi: 10.1007/s11740-018-0851-y
25. Oberheitmann, A. (2020). Industry 4.0—Economic benefits and challenges, especially for small and medium-sized enterprises. *German and Chinese Contributions to Digitalization: Opportunities, Challenges, and Impacts*, 13-22. Doi: 10.1007/978-3-658-29340-6\_2
26. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26. Doi: 10.1016/J.IJPE.2019.01.004
27. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, 204, 383-394. Doi: 10.1016/J.IJPE.2018.08.019
28. Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776. Doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107776 10.1016/j.ijpe.2020.107776
29. Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962. Doi: 10.1080/00207543.2018.1444806
30. Zhou, M. (2019). Smart Manufacturing Ecosystem with Industry 4.0 Technologies. In *2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 1-1). IEEE. Doi: 10.1109/COASE.2019.8843279
31. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10. Doi: 10.1016/J.JII.2017.04.005
32. Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954. Doi: 10.1080/00207543.2020.1824085
33. Rane, S., Shah, P., & Sekhar, R. (2022). Survey of technologies for industry 4.0. In *2022 6th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation (ICCUBEA)* (pp. 1-6). IEEE. Doi: 10.1109/ICCUBEA54992.2022.10010837
34. Raj, C. M., Sundaram, M., & Anand, M. (2023). Automation of industrial machinerie. *The Scientific Temper*, 14(02), 500-503.
35. K, R. (2024). *Impact of industrial automation*
36. Dragun, T., Mascaro, S., Blanchard, J., & Chauhan, V. (2022, October). Assembly Automation Using an Industrial Robot. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 86649, p. V02BT02A056). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/IMECE2022-94986>
37. Bizubac, D., Popa, M. S., Hörmann, B. O., & Faur, A. S. (2018). Research Of Industrial Processes In Automation. *Acta Technica Napocensis-Series: Applied Mathematics, Mechanics, And Engineering*, 61(2).
38. de Mattos Fernandes, M., Bigheti, J. A., Pontarolli, R. P., & Godoy, E. P. (2021). Industrial automation as a service: a new application to industry 4.0. *IEEE Latin America Transactions*, 19(12), 2046-2053.
39. Bhogaraju, S. D., Kumar, K. V. R., & Shaik, J. H. (2021). Advanced predictive analytics for control of industrial automation process. In *Innovations in the Industrial Internet of Things (IIoT) and Smart Factory* (pp. 33-49). IGI Global Scientific Publishing. DOI: 10.4018/978-1-7998-3375-8.ch003
40. Tao, Y., & Xing, L. (2015). *The development trend of industrial automation control technology*.
41. Shi, Z. (2023). Development Trends and Prospects of Industrial Automation. *Academic Journal of Business & Management*, 5(19), 102-106.
42. Porselvi, T., Saranraj, A. K., Rikthish, B. P., Prabakaran, M., & Priya, S. (2023, December). Industrial Automation Using IoT. In *2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business*

- Systems (ICCEBS)* (pp. 1-5). IEEE. DOI: 10.1109/ICCEBS58601.2023.10448809
43. Ionel, D. S., & Opran, C. G. (2022). Transforming Strategy From Industrial Automation To Advanced Lean Automation. *International Journal Of Modern Manufacturing Technologies (Ijmmt)*, 14(2).
  44. Ladino Fernandez, J. M., & Briceño Barrero, D. (2021). Desafíos de la Industria 4.0 en las PYMES colombianas: Un análisis de brechas y oportunidades. *Revista de Estudios Empresariales de Colombia*. <https://revistaempresarialescol.co/desafios-industria4-0-pymes>
  45. Semana. (2023). Pymes en Colombia están rezagadas en la adopción de tecnologías 4.0. *Semana*. <https://semana.com/pymes-colombia-rezagadas-tecnologia>
  46. Departamento Nacional de Planeación (2023, 2024). Reportes sobre brechas tecnológicas y políticas de innovación en Colombia.
  47. Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (2024). Análisis de conectividad y digitalización en el país.
  48. Colombiano (2021). Transformación digital sí es rentable para pymes. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/negocios/transformacion-digital-si-es-rentable-para-pymes-NH16116478>
  49. Cartagena (2022). Pymes, claves para el crecimiento económico en Cartagena. Cartagena. [https://caracol.com.co/emisora/2022/06/28/cartagena/1656422564\\_363885.html](https://caracol.com.co/emisora/2022/06/28/cartagena/1656422564_363885.html)
  50. Ministro TIC (2024). Cartagena la estrategia de Colombia para ser Potencia Digital. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/334451:Ministro-TIC-socializo-en-Cartagena-la-estrategia-de-Colombia-para-ser-Potencia-Digital>
  51. Camargo, C. C. P., Zamora, G. I. P., & Conde, M. C. M. (2022). Economía naranja y desarrollo tecnológico en Colombia: retos y desafíos en la era de la industria 4.0. *Revista Innova ITFIP*, 11(1), 117-134.
  52. Caracol (2022). Cartagena: lista pare asumir el reto de transformarse digital y socialmente. [https://caracol.com.co/emisora/2022/08/27/cartagena/1661625487\\_039409.html](https://caracol.com.co/emisora/2022/08/27/cartagena/1661625487_039409.html)
  53. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2023, 2024). Estrategias de reindustrialización y transformación digital.
  54. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (2023). Reportes sobre adopción de Industria 4.0 en PYMES.
  55. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2022). Evaluación de políticas de digitalización en Colombia.
  56. Ministerio de Educación Nacional (2023). Brechas en formación técnica y tecnológica para la automatización
  57. Banco de la República (2023). Restricciones de acceso al crédito para PYMES
  58. Invest in Cartagena (2023). Oportunidades de digitalización y desarrollo industrial en Cartagena.
  59. SENA (2024). Expansión de programas de formación en digitalización y automatización industrial.
  60. Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
  61. Agostini, L., & Nosella, A. (2020). The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study. *Management Decision*, 58(4), 625-643. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-0973>
  62. Rojas, N., Sánchez, A., & Vargas, M. (2021). Challenges in Industry 4.0 adoption for SMEs: A Latin American perspective. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 636-649. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.010>
  63. Reddy, G. R., Rao, S. K., & Mohan, K. P. (2019). Artificial intelligence and automation in industry: A review. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 35-42. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A1112.109119>
  64. Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, 10(1), 247. <https://doi.org/10.3390/su10010247>
  65. Sony, M., & Naik, S. (2020). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(7), 2213-2232. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>