



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro: nuevas perspectivas y estrategias para la innovación empresarial

Quality 4.0 in Supply Chain Management: new perspectives and strategies for business innovation

Autor:

Rodríguez Intriago María José

Tutor de Titulación:

Ing. Zavala Alcívar Antonio Xavier

Manta - Manabí - Ecuador

2025

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro: nuevas
perspectivas y estrategias para la innovación empresarial**

*Quality 4.0 in Supply Chain Management: new perspectives and strategies for
business innovation*

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD
Ing.

DIRECTOR
Ing.

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **Rodríguez Intriago María José**, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Industrial período académico 2025-2025, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es *“Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro: nuevas perspectivas y estrategias para la innovación empresarial”*.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 04 de agosto de 2025.

Lo certifico,



**Antonio Xavier
Zavala Alcivar**



Ing. Antonio Zavala-Alcívar Mg.Sc.

Docente Tutor

Declaración de Autoría de Tesis

Rodríguez Intriago María José, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado: **Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro: nuevas perspectivas y estrategias para la innovación empresarial**. Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Antonio Xavier Zavala-Alcívar y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Rodríguez Intriago María José

C.I. 1312923053



Antonio Xavier
Zavala Alcivar



Ing. Zavala Alcívar Antonio Xavier

C.I. 1313198937

Manta, 04 de Agosto de 2025

Dedicatoria

Este trabajo representa mucho más que un simple cumplimiento académico. Es el reflejo de un camino largo y profundo, lleno de esfuerzo, amor, lágrimas, silencios y momentos de esperanza. Cada palabra aquí fue escrita desde el cansancio y la fe, desde las dudas y la voluntad de seguir. Esta dedicatoria nace desde lo más íntimo de mi corazón, porque este logro no es solo mío; es también de quienes caminaron a mi lado, aun cuando me sentía perdida.

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de fortaleza y esperanza en los momentos de duda, quien me dio la luz y la serenidad necesarias para continuar, aun cuando el camino se tornó difícil. Sin su guía espiritual, no habría tenido la fe para avanzar y culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Verónica y Reynaldo, pilares fuertes y amorosos de mi vida. No hay palabras suficientes para expresar cuánto les debo. Gracias por cada sacrificio silencioso, por las noches desvelados conmigo en el corazón, por sus consejos y por la fe inquebrantable que pusieron en mí, incluso cuando yo dudaba. Gracias por amarme sin condiciones, por sostenerme con ternura y firmeza, y por enseñarme que todo esfuerzo tiene sentido. Esta tesis les pertenece tanto como a mí; sin ustedes, jamás habría llegado hasta aquí. Todo lo que soy, es por ustedes.

A mis hermanos, Miguel y Melanie, mis cómplices y compañeros de vida, gracias por ser abrigo en momentos de frío emocional, por sus palabras que me devolvieron la paz, sus bromas, abrazos y su presencia sin invadir, solo acompañando. Cada uno fue parte esencial de este viaje.

A mi querido tío Jhon, que partió demasiado pronto, pero sigue vivo en mi corazón. Gracias por cada gesto de amor, por tu dulzura y compañía. Aunque no estás físicamente, te sentí cerca en muchas etapas de este proceso. En cada logro y paso, imaginé tu sonrisa orgullosa, como si desde el cielo me animaras en silencio. Esta tesis lleva tu nombre porque siempre serás parte de mi historia.

A mi gatita Sofi, mi compañera silenciosa de madrugadas eternas, y a mis demás mascotas, gracias por estar a mi lado cuando todos dormían, por su compañía cálida y pura, y por regalarme momentos de ternura que me ayudaron más de lo que puedo explicar. Su amor me sostuvo como nadie más pudo.

A mis amigos, por estar presentes con sinceridad y cariño, por su paciencia, por cada mensaje, llamada y gesto que me recordó que no estaba sola. Gracias por acompañarme sin juzgar, por celebrar mis pequeñas victorias, y por sostenerme en los momentos difíciles. Cada palabra y cada sonrisa suya fue una chispa que encendió mi ánimo cuando más lo necesitaba.

A quienes con sus voces y sueños me mostraron que, incluso en la oscuridad, la luz del esfuerzo y la esperanza puede brillar con fuerza. Gracias por inspirar en mí la valentía para seguir adelante, por recordarme que cada caída es un paso hacia la cima y que el verdadero triunfo nace del corazón que nunca se rinde. Este logro lleva en sus notas el eco de esa fuerza y esa pasión que me impulsaron a ser mejor cada día.

Finalmente, a mí misma. A la mujer que enfrentó miedos, dudas y caídas, y descubrió una fuerza que no sabía que tenía. Me dedico esta tesis porque la gané con corazón y perseverancia. Seguí adelante, paso a paso, incluso cuando todo parecía derrumbarse. Lloré, me sentí agotada y quise rendirme, pero nunca lo hice. Me abrazo por no soltarme, por recordarme que merezco seguir y mantener vivo este sueño, aunque pareciera imposible. Estoy orgullosa de lo que soy hoy.

Al cerrar este ciclo, entrego más que un trabajo: entrego una parte profunda de mí, una historia tejida con cada emoción, dificultad y aprendizaje. Este logro nace del amor, la paciencia y el esfuerzo compartido con quienes estuvieron a mi lado, y refleja la fortaleza que descubrí dentro. Agradezco a quienes iluminaron mis sombras, me ofrecieron abrazos en el cansancio y me levantaron cuando dudaba. Cada avance lleva el recuerdo de su apoyo y mi compromiso firme de seguir sin rendirme jamás.

Reconocimiento

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis.

A mi tutor de tesis, por su guía experta, paciencia y constante apoyo. Sus valiosos consejos, observaciones y respaldo fueron fundamentales para enriquecer este trabajo y superar los desafíos del proceso.

A los profesores y miembros del comité académico, por compartir su conocimiento y experiencia, así como por incentivar siempre la búsqueda del aprendizaje y la excelencia.

A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, por su amor incondicional, sacrificios y palabras de aliento que me sostuvieron en los momentos más difíciles. Sin su confianza y apoyo constante, este logro no habría sido posible.

A mis amigos, quienes estuvieron presentes para ofrecerme su compañía, ánimo y comprensión, celebrando conmigo cada pequeño avance y apoyándome cuando más lo necesité.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron a mi formación personal y profesional. Este trabajo es fruto no solo de mi esfuerzo, sino también del respaldo y cariño de todos ustedes.

A todos, mi más sincero y profundo agradecimiento.

Índice de Contenido

Certificación del Tutor	iii
Declaración de Autoría de Tesis	iv
Dedicatoria.....	v
Reconocimiento	vii
Índice de Contenido	viii
Con Índice de Figuras	xi
Resumen Ejecutivo	xii
Executive Summary	xiii
Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Formulación del problema	5
Objetivos	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos	6
Justificación.....	7
Capítulo 1.....	9
1 Fundamentación Teórica	9
1.1 Antecedentes Investigativos	9
1.2 Bases Teóricas	11
1.2.1 Industria 4.0.....	11
1.3 Marco Metodológico.....	18
1.3.1 Modalidad Básica de la Investigación.....	18
1.3.2 Enfoque	18
1.3.3 Nivel de Investigación.....	18
1.3.4 Población de Estudio.....	19

1.3.5	Tamaño de la Muestra.....	19
1.3.6	Técnicas de recolección de datos	19
	Plan de recolección de datos	20
1.3.7	20
1.3.8	Procesamiento de la Información	21
Capítulo 2	22
2.1	Técnicas de Recolección de Datos	22
2.2	24
	Formulación de la Pregunta de Investigación.....	24
2.3	Búsqueda de Literatura Relevante	24
2.4	Selección y Evaluación de la Literatura	26
Capítulo 3	33
3.1	Tecnologías Predominantes en Calidad 4.0	34
3.2	Modificaciones en la Cadena de Suministro	38
3.3	Relación con el Entorno VUCA.....	40
	Conclusiones.....	43
	Recomendaciones.....	45
2	Bibliografía.....	47

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Recolección de datos</i>	20
Tabla 2 <i>Criterios de Scopus</i>	25
Tabla 3 <i>Criterio de Inclusión</i>	26
Tabla 4 <i>Parámetros utilizados para el análisis de los artículos</i>	28
Tabla 5 <i>Principales revistas científicas por número de artículos seleccionados</i>	29

Con Índice de Figuras

Figura 1 <i>Tendencia de Publicaciones sobre Calidad 4.0 por Año</i>	29
Figura 2 <i>Distribución Sectorial</i>	31
Figura 3 <i>Distribución geográfica</i>	32
Figura 4 <i>Distribución de análisis bibliométrico</i>	34
Figura 5 <i>Distribución de Tecnologías de Calidad 4.0</i>	35
Figura 6 <i>Modificaciones En La Cadena De Suministro Con Calidad</i>	38
Figura 7 <i>Relación De Quality Calidad 4.0 Con Los Factores VUCA</i>	40

Resumen Ejecutivo

Este trabajo explora el impacto de Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro dentro del contexto de un entorno VUCA (Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad). La Industria 4.0 ha impulsado una revolución digital que ha transformado las prácticas tradicionales de gestión de calidad mediante la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial (IA), Machine Learning y Blockchain. Estas tecnologías permiten a las organizaciones mejorar la eficiencia operativa, la resiliencia y la adaptabilidad frente a las incertidumbres del mercado, proporcionando una ventaja competitiva fundamental para mantenerse relevantes en un entorno dinámico.

Mediante una revisión sistemática de la literatura y el análisis de estudios de caso, este trabajo ofrece una visión profunda sobre cómo Calidad 4.0 influye en las operaciones de la cadena de suministro. Se destaca especialmente su capacidad para anticipar problemas, mejorar la trazabilidad y garantizar la transparencia en tiempo real, lo que representa un avance significativo en la gestión de calidad. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías no está exenta de desafíos. Entre las principales barreras se encuentran la carencia de competencias digitales dentro de los equipos de trabajo, la resistencia organizacional al cambio y la necesidad de contar con un marco conceptual claro que facilite la implementación efectiva de Calidad 4.0.

El estudio también aporta recomendaciones prácticas para las empresas interesadas en integrar Calidad 4.0 en sus procesos, enfatizando la importancia de fomentar la innovación y la sostenibilidad como pilares fundamentales para asegurar una adopción exitosa y un impacto positivo a largo plazo. Las conclusiones de este análisis buscan facilitar la transición hacia modelos de gestión de calidad más ágiles, adaptativos y centrados en el valor.

Palabras clave: Quality 4.0, Industria 4.0, Gestión de Calidad, Cadena de Suministro, VUCA, IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, Machine Learning, Blockchain, Innovación, Sostenibilidad.

Executive Summary

This paper examines the impact of Quality 4.0 on supply chain management within the context of a VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, and Ambiguity) environment. Industry 4.0 has sparked a digital revolution that has transformed traditional quality management practices through the integration of advanced technologies such as Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), Machine Learning, and Blockchain. These technologies enable organizations to enhance operational efficiency, resilience, and adaptability to market uncertainties, providing a crucial competitive advantage to remain relevant in a dynamic environment.

Through a systematic literature review and case study analysis, this study provides a comprehensive understanding of how Quality 4.0 influences supply chain operations, particularly in its capacity to anticipate issues, enhance traceability, and ensure real-time transparency. Despite these advantages, the implementation of such technologies encounters challenges, including gaps in digital skills within the workforce, resistance to organizational change, and the necessity for a clear conceptual framework to effectively adopt Quality 4.0 practices.

Furthermore, this work offers practical recommendations for organizations aiming to integrate Quality 4.0 into their processes, emphasizing innovation, sustainability, and growth within a VUCA (Volatile, Uncertain, Complex, and Ambiguous) environment. The conclusions derived from this analysis seek to support the transition toward more agile, adaptive, and value-focused quality management models.

Keywords: Quality 4.0, Industry 4.0, Quality Management, Supply Chain, VUCA, IoT, Big Data, Artificial Intelligence, Machine Learning, Blockchain, Innovation, Sustainability.

Introducción

La gestión de la calidad en la cadena de suministro está atravesando una transformación significativa, impulsada por las demandas de un entorno caracterizado por la volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad, conocido como VUCA. Se presenta desafíos para los modelos tradicionales de gestión, particularmente en la gestión de la cadena de suministro, donde la capacidad de adaptarse rápidamente a cambios inesperados es clave para mantener la competitividad. Las metodologías tradicionales de gestión de calidad, que se basan en controles retrospectivos, inspecciones manuales y ciclos lineales de mejora continua, ya no son suficientes para afrontar los desafíos actuales, ya que no ofrecen la flexibilidad y agilidad necesarias para enfrentar las rápidas fluctuaciones del mercado y las crecientes demandas de los consumidores (Corte, 2021).

Para enfrentar las limitaciones que hoy desafían a las organizaciones, la adopción de Calidad 4.0 representa una alternativa estratégica que transforma la gestión de la calidad a través del uso de tecnologías emergentes. Herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, la Inteligencia Artificial, el aprendizaje automático (Machine Learning) y la tecnología blockchain están siendo utilizadas para optimizar los procesos de calidad, logrando mejoras significativas en eficiencia y robustez, especialmente en contextos de constante cambio. La posibilidad de integrar datos en tiempo real permite a las empresas anticiparse a posibles fallos o desviaciones, facilitando así una toma de decisiones más informada y fortaleciendo los sistemas de seguimiento y control (Sader, Husti & Daroczi, 2021).

Calidad 4.0 no solo se enfoca en la mejora de los procesos productivos, sino también en la gestión de calidad en tiempo real. A través de tecnologías disruptivas como Blockchain, se asegura la transparencia y seguridad de los productos a lo largo de la cadena de suministro, lo que resulta fundamental para mantener la confianza de los consumidores y garantizar la continuidad operativa frente a disrupciones. No obstante, la implementación de Calidad 4.0 enfrenta varios obstáculos, tales como la falta de una comprensión conceptual clara de

su definición y alcance, barreras tecnológicas y culturales, así como dificultades para integrar estas innovaciones en el marco de gestión tradicional (Radziwill, 2018).

El entorno VUCA intensifica los desafíos organizacionales al exigir una mayor capacidad de adaptación y respuestas ágiles frente a cambios imprevistos. La implementación de la Calidad 4.0 permite a las empresas transformar su enfoque tradicional de control de calidad, pasando de una postura reactiva a una más preventiva y estratégica. Esta evolución favorece una mayor resiliencia y competitividad, ya que permite una respuesta más efectiva ante las condiciones cambiantes del mercado, al tiempo que reduce los riesgos asociados (Ranjith et al., 2021). No obstante, el éxito en la adopción de esta filosofía depende de la capacidad de superar ciertas barreras, entre las que destacan la resistencia al cambio, la limitada preparación digital de los equipos de trabajo y la ausencia de un marco definido que oriente la implementación de estas tecnologías (Tewary & Jadon, 2023).

El propósito central de este estudio es examinar cómo la aplicación de la Calidad 4.0 influye en la gestión de la cadena de suministro, especialmente en contextos caracterizados por alta volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad (VUCA). La investigación pone énfasis en el papel que desempeñan las tecnologías emergentes al momento de potenciar la eficiencia operativa, la capacidad de adaptación y la competitividad organizacional. Mediante un análisis riguroso de la literatura existente y la revisión de experiencias prácticas, se pretende identificar de qué manera las empresas están incorporando herramientas digitales y enfoques innovadores con el fin de robustecer sus cadenas de suministro, al tiempo que se preparan para aprovechar nuevas oportunidades orientadas a la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo a largo plazo (Kushwaha & Talib, 2025).

Planteamiento del problema

Las organizaciones actuales operan en un entorno marcado por la volatilidad, la incertidumbre, la complejidad y la ambigüedad, conocido como VUCA. Este contexto desafía los modelos tradicionales de gestión, especialmente en la gestión de la cadena de suministro, donde la capacidad de adaptación rápida a cambios impredecibles se ha convertido en un factor esencial para mantener la competitividad. Las prácticas de gestión de calidad tradicionales, que se basan principalmente en controles retrospectivos, inspecciones manuales y ciclos lineales de mejora continua, resultan inadecuadas para enfrentar los retos del entorno empresarial actual. Estas prácticas no ofrecen la agilidad necesaria para responder con eficacia a las necesidades cambiantes del mercado y las expectativas de los consumidores (Corte, 2021).

Frente a este escenario de constante transformación, emerge el concepto de Calidad 4.0, el cual plantea una evolución en la gestión de la calidad mediante la incorporación de tecnologías avanzadas. Entre estas se incluyen el Big Data, la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT), la analítica predictiva y los sistemas ciberfísicos, que se integran con los principios clásicos de la calidad, como el control estadístico, el aseguramiento de la calidad y la mejora continua. De acuerdo con Sader, Husti y Daroczi (2021), la finalidad de la Calidad 4.0 es anticipar los problemas antes de que se presenten, facilitar intervenciones en tiempo real y generar valor de manera sostenida a lo largo de la cadena de suministro, fortaleciendo así la eficiencia, la trazabilidad y la capacidad de innovación en los procesos.

Sin embargo, a pesar de las promesas que ofrece *Calidad 4.0*, su implementación efectiva presenta varios obstáculos. Radziwill (2018) observa que, a pesar del creciente interés en *Calidad 4.0* en sectores industriales clave, aún persiste una falta de claridad conceptual sobre su definición precisa, su alcance y sus implicaciones estratégicas. Muchos estudios y publicaciones tienden a considerar *Calidad 4.0* como una extensión de la Industria 4.0, sin reconocerla como una nueva fase de evolución en el pensamiento sobre la

calidad, lo que genera confusión dentro de las organizaciones sobre cómo implementarla de manera efectiva (Radziwill, 2018). Este vacío conceptual contribuye a la dificultad en la adopción de *Calidad 4.0*, ya que las empresas no cuentan con un marco claro para guiar la transformación digital de sus procesos de calidad.

Una de las barreras más relevantes en la implementación de Calidad 4.0 es la carencia de competencias digitales dentro de los equipos de trabajo. Como señalan Tewary y Jadon (2023), contar con una fuerza laboral capacitada resulta fundamental para lograr una integración efectiva de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial en los procesos de gestión de calidad. La falta de formación adecuada y el desconocimiento de estas herramientas limitan significativamente la posibilidad de aprovechar todo el potencial que ofrece Calidad 4.0 en cuanto a eficiencia, innovación y trazabilidad en la cadena de suministro. A esto se suma lo expuesto por Deng et al. (2025), quienes advierten que la resistencia al cambio organizacional y la carencia de un liderazgo estratégico enfocado en la transformación digital representan obstáculos adicionales que dificultan una adopción coherente y sostenible de este enfoque.

Por otro lado, el entorno VUCA amplifica estos retos. Los cambios rápidos e impredecibles requieren que las organizaciones sean más ágiles, flexibles y capaces de tomar decisiones basadas en datos en tiempo real. Según Ranjith et al. (2021), este entorno exige estructuras organizacionales que puedan adaptarse con rapidez a los cambios, lo que solo es posible con la adopción efectiva de *Calidad 4.0*. De acuerdo con Ranjith et al. (2021), *Calidad 4.0* ofrece una oportunidad para que la gestión de la calidad pase de un enfoque reactivo a uno estratégico y predictivo, lo cual es clave para lograr sostenibilidad y resiliencia en la cadena de suministro.

Si bien se han registrado avances en la adopción de Calidad 4.0 en determinados ámbitos empresariales, su implementación exitosa sigue estando condicionada por la superación de diversas barreras de carácter tecnológico, cultural y económico. Este enfoque posee un alto potencial para transformar la gestión de la cadena de suministro; sin embargo, para aprovechar plenamente

sus beneficios, las organizaciones deben enfrentar los desafíos conceptuales asociados y definir una estrategia integral. Dicha estrategia debe contemplar tanto el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas como la formación continua del talento humano involucrado.

Formulación del problema

- ¿Cómo la *Calidad 4.0* puede transformar y optimizar la cadena de suministro para que sea más robusta y eficaz frente a los desafíos de un entorno VUCA?

Preguntas directrices:

- ¿Cuáles son las tecnologías y metodologías más relevantes dentro del enfoque de Calidad 4.0 que pueden aplicarse de manera efectiva para optimizar la gestión de la cadena de suministro?
- ¿Cómo la implementación de las técnicas de la *Calidad 4.0* impacta directamente en la resiliencia, eficiencia y capacidad de respuesta estratégica de la cadena de suministro, especialmente en un entorno VUCA?
- ¿Cómo la integración de la *Calidad 4.0* permite que la cadena de suministro no solo resista, sino que aproveche las características del entorno VUCA para generar innovación, mejora continua y una ventaja competitiva duradera?

Objetivos

Objetivo General

Analizar las estrategias de la Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro, considerando su impacto en la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la competitividad en el entorno VUCA en la innovación empresarial.

Objetivos Específicos

Identificar las principales técnicas de *Calidad 4.0* que se están utilizando en la gestión de la cadena de suministro, con el objetivo de entender las herramientas digitales y las innovaciones tecnológicas que están revolucionando sus procesos operativos.

Analizar el impacto de las técnicas asociadas a la Calidad 4.0 en la eficiencia, la trazabilidad y la toma de decisiones dentro de la cadena de suministro, considerando su influencia en la mejora de la productividad, la reducción de errores y el aumento de la agilidad operativa.

Determinar el impacto de la implementación de enfoques de Calidad 4.0 en la cadena de suministro frente a entornos VUCA, con el objetivo de contribuir a la resiliencia organizacional, la adaptabilidad estratégica y la sostenibilidad empresarial.

Justificación

La presente investigación se sustenta en la necesidad urgente de analizar la integración entre la Gestión de la Calidad en la Cadena de Suministro 4.0 (SCQM4.0) y la Calidad 4.0, conceptos fundamentales en el contexto de transformación digital que caracteriza a la Cuarta Revolución Industrial. En un entorno altamente competitivo y dinámico, las organizaciones se ven obligadas a evolucionar sus sistemas de gestión tradicionales para mantenerse vigentes frente a las nuevas exigencias del mercado global (Bui et al., 2022; Kushwaha & Talib, 2025).

La SCQM4.0 surge como una convergencia estratégica entre los principios de la Industria 4.0, la gestión de la calidad y la gestión de la cadena de suministro, proporcionando un enfoque integrado para el control, análisis y mejora de procesos organizacionales (Bui et al., 2025). En paralelo, la Calidad 4.0 representa la evolución de la gestión de la calidad hacia un modelo adaptado a la era digital, que incorpora tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, el Big Data, el blockchain, la computación en la nube y los sistemas ciberfísicos, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y elevar los niveles de satisfacción del cliente (El Manzani et al., 2025; Salimbeni et al., 2023; Kushwaha & Talib, 2025). No obstante, el éxito en la implementación de este nuevo paradigma depende, en gran medida, del liderazgo organizacional y del compromiso activo de los colaboradores (Deng Y. Z., 2025).

A pesar de su creciente relevancia, la literatura académica muestra importantes limitaciones en cuanto a la evaluación integral del enfoque SCQM4.0, lo cual impide una comprensión completa de las sinergias entre la Industria 4.0, la calidad y la gestión de la cadena de suministro (Bui et al., 2025). De igual manera, se observa una escasa profundización en el análisis del impacto de la Calidad 4.0 sobre la sostenibilidad, así como en su aplicabilidad en entornos transnacionales (Kushwaha & Talib, 2025). Estas carencias evidencian la necesidad de proponer nuevos enfoques de gestión que respondan a los desafíos actuales, como la disminución del interés en el área de la calidad y las crecientes perturbaciones globales (Kushwaha & Talib, 2025).

En respuesta a estos vacíos, los objetivos de esta investigación se orientan a analizar los marcos conceptuales y de madurez vinculados a la SCQM4.0, con el propósito de ofrecer lineamientos claros para su implementación empresarial. Asimismo, se busca examinar el estado actual y las posibles proyecciones de la Calidad 4.0, con especial atención a su influencia en la sostenibilidad. La investigación también abordará cómo las tecnologías disruptivas pueden contribuir a potenciar la eficiencia operativa, reducir costos y elevar la calidad tanto de productos como de servicios (Bui et al., 2025; Kushwaha & Talib, 2025).

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Según Kushwaha y Talib (2024), la *Calidad 4.0* ha emergido como un campo de investigación crucial y en rápida expansión, lo que ha impulsado la necesidad de realizar análisis sistemáticos y bibliométricos para comprender su estado actual, identificar tendencias emergentes y delinear futuras direcciones de investigación. Esta forma es muy importante para organizar el saber y guiar avance en un campo tan cambiante, en su uso en la cadena, para ver quiénes escriben, revistas y textos más notables; también los tópicos del estudio que cambian la materia.

Asimismo, Bui et al. (2021) destacan que la creciente complejidad del entorno empresarial y la irrupción de la Industria 4.0 han llevado a reconocer la integración esencial entre la Industria 4.0, la gestión de la calidad y la gestión de la cadena de suministro, dando origen al concepto de Gestión de Calidad de la Cadena de Suministro 4.0 (SCQM 4.0). Este nuevo paradigma ha impulsado el desarrollo de marcos conceptuales y de madurez específicos, diseñados para guiar a las organizaciones en la implementación progresiva de estas prácticas. El objetivo principal es optimizar la agilidad, resiliencia y eficiencia de las cadenas de suministro frente a las condiciones de volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad propias de los entornos actuales, facilitando una toma de decisiones proactiva y fundamentada en el análisis de datos.

Por su parte, Rowland (2021) llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura junto con un análisis bibliométrico de publicaciones en el TQM Journal entre 2010 y 2022, con el propósito de identificar los beneficios y desafíos de la adopción de la *Calidad 4.0*. Entre los hallazgos más importantes, destacó que India y Estados Unidos lideran en la producción académica sobre este tema, y que la investigación en administración y gestión empresarial tiene un predominio notable en la literatura. Rowland concluye que estas revisiones proporcionan información crucial para investigadores y profesionales, fomentando el análisis

de temas emergentes en sectores como la educación superior, los servicios y la salud. Además, subrayó la importancia de un enfoque global para comprender mejor los desafíos y oportunidades que plantea la adopción de la *Calidad 4.0*

En un estudio llevado a cabo en Riobamba, Ecuador, Guailazaca & Hernández (2020) crearon un sistema innovador para controlar la calidad de productos agrícolas. Este sistema, que se apoya en tecnologías de la Industria 4.0 y el aprendizaje automático, usó redes neuronales convolucionales (CNN) y el algoritmo K-Nearest-Neighbor (KNN). Su investigación mostró que podían clasificar frutas como bananos y manzanas con gran exactitud. Destacaron que el algoritmo KNN fue particularmente efectivo para reconocer formas y colores en tiempo real, subrayando la adaptabilidad de su sistema para el sector agroindustrial.

Di Stefano (2023) realizó un estudio en Buenos Aires, Argentina, para evaluar la relevancia de la filosofía Kaizen de mejora continua en el contexto de la Industria 4.0. Su investigación se centró en determinar si las herramientas tradicionales del Kaizen requieren adaptaciones o sustituciones por tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la realidad aumentada. Los resultados indicaron que las prácticas Kaizen mantienen su valor, especialmente cuando se combinan con las innovaciones propias de la Industria 4.0, resaltando la importancia de integrar la cultura de mejora continua con las nuevas tecnologías para aprovechar plenamente la transformación digital.

Los antecedentes revisados permiten evidenciar que la Calidad 4.0 se ha consolidado como un campo emergente que integra la gestión de la calidad con tecnologías de la Industria 4.0, transformando la gestión de la cadena de suministro en entornos dinámicos. La revisión de estudios bibliométricos y sistemáticos ha sido útil para organizar el conocimiento existente y orientar nuevas líneas de investigación. Asimismo, resulta valioso observar la importancia de una visión sistémica que combine estrategias de calidad con la cadena de suministro, así como la necesidad de considerar experiencias globales y locales que evidencian la aplicabilidad de estas tecnologías en distintos sectores y contextos. La integración de metodologías tradicionales de mejora continua con herramientas digitales muestra que la verdadera innovación

surge de la combinación entre cultura organizacional y transformación tecnológica, aportando claridad y fundamento al desarrollo de esta investigación.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Industria 4.0

La Industria 4.0 es la cuarta revolución industrial que redefine los ecosistemas industriales hacia sistemas más inteligentes, automatizados e interconectados. Además, se destacan tecnologías clave que conforman el núcleo de la Calidad 4.0, tales como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, el Big Data, la computación en la nube, la robótica autónoma y el blockchain, las cuales son esenciales para modernizar y potenciar los procesos dentro de la gestión de la calidad. Su impacto se extiende a la gestión de la cadena de suministro, digitalizando estructuras para mejorar la visibilidad y resiliencia operativa, y contribuye a la sostenibilidad optimizando recursos y minimizando el impacto ambiental (Zahid, 2025).

Desde otra perspectiva, la Industria 4.0 actúa como un catalizador de transformaciones profundas en la ingeniería y las prácticas de fabricación modernas. Es el motor que impulsa la Calidad 4.0, promoviendo una transición hacia el monitoreo continuo de la calidad. Este nuevo paradigma ofrece herramientas y tecnologías esenciales, tales como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, el Big Data, la inteligencia artificial, los sistemas ciberfísicos y la computación en la nube, que permiten a la gestión de calidad ampliar sus horizontes y mejorar la eficiencia en las organizaciones (Alsadi, 2024).

1.2.2 Industria 4.0 en la Calidad en la Cadena De Suministro

El concepto de gestión de calidad de la cadena de suministro 4.0 (SCQM4.0) representa una propuesta innovadora y en desarrollo que combina los principios y tecnologías propias de la Industria 4.0 con las prácticas tradicionales de gestión de calidad y cadena de suministro. Su objetivo principal es promover cadenas de suministro más sólidas, ágiles e inteligentes, capaces de operar eficazmente en entornos digitales actuales y afrontar sus

complejidades con una visión integrada (Bui, 2022). Entre las tecnologías que respaldan este enfoque se encuentran plataformas digitales para el intercambio de información en tiempo real, como portales web y computación en la nube, sistemas de información gerencial, tecnologías de rastreo como RFID y GPS, así como Building Information Modeling (BIM) y la impresión 3D. La adopción de estas herramientas busca optimizar procesos, reducir costos logísticos, minimizar errores y fomentar la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena (Kannan & Garad, 2020). Actualmente, estas tecnologías digitales juegan un rol fundamental en la evolución de Calidad 4.0, especialmente en la gestión de la cadena de suministro, contribuyendo directamente a mejorar la calidad, eficiencia y capacidad de adaptación, elementos clave para la innovación empresarial en el entorno contemporáneo.

El Internet de las Cosas (IoT) emerge como uno de los principales impulsores de esta transformación. Mediante el uso de sensores para obtener datos en tiempo real sobre los procesos de producción y calidad, el IoT mejora significativamente la trazabilidad y visibilidad de las operaciones (Oliveira, 2024). Esta capacidad de monitoreo continuo y preciso de cada etapa del proceso resulta crucial para mantener la calidad en entornos dinámicos y cambiantes, particularmente aquellos caracterizados por la Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad (VUCA). Diversos estudios indican que el IoT no solo facilita la detección temprana de fallas en los procesos, sino que también optimiza la cadena de suministro a través de la integración de datos en tiempo real, permitiendo una respuesta ágil y eficiente ante los desafíos operativos (Oliveira, 2024).

Otra herramienta digital fundamental en *Calidad 4.0* es el Big Data y el análisis avanzado, que faculta a las organizaciones para gestionar grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes a lo largo de la cadena de suministro. La incorporación del Big Data facilita la toma de decisiones informadas mediante el análisis de patrones y comportamientos relacionados con la calidad en toda la cadena de suministro. Esta capacidad analítica no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también mejora la calidad del producto al permitir la detección temprana de problemas antes de que afecten la

producción. Los algoritmos predictivos y otras herramientas de análisis avanzado son esenciales para sustentar decisiones basadas en datos en tiempo real, fortaleciendo así la capacidad de adaptación ante cambios inesperados (Oliveira, 2024).

Por otro lado, la tecnología Blockchain ofrece un sistema transparente y seguro para el registro de datos de calidad y el monitoreo de procesos en la cadena de suministro. En entornos VUCA, donde la interacción constante entre múltiples proveedores es una realidad, la trazabilidad que proporciona blockchain se convierte en un elemento clave para asegurar la calidad y la transparencia. Esta capacidad permite a las organizaciones gestionar eficazmente los riesgos asociados a la cadena de suministro, fortaleciendo la confianza y la rendición de cuentas (Basana, 2025)

Sin embargo, la implementación de Supply Chain 4.0 enfrenta desafíos como la aceptación de nuevas tecnologías y la interoperabilidad de subsistemas digitales (Sony, 2020). Para superarlos, la literatura destaca la importancia de prácticas infraestructurales y organizacionales, incluyendo el apoyo de la alta dirección, la infraestructura de TI, el desarrollo de habilidades en recursos humanos, la coordinación, una cultura organizacional favorable y un liderazgo estratégico

1.2.3 Calidad 4.0

La *Calidad 4.0* representa una fase actual en la gestión de calidad, originada de la convergencia entre la Industria 4.0 y las metodologías tradicionales. Este enfoque pretende optimizar y ampliar las operaciones relacionadas con la calidad a través de la combinación de tecnologías avanzadas y prácticas tradicionales. A pesar de su creciente importancia, su definición aún está en proceso de consolidación y no cuenta con una aceptación universal (Sader, Husti, & Daroczi, 2021)

La implementación de Calidad 4.0 se apoya en la adopción de tecnologías de punta como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, el Big Data, la tecnología blockchain, el Internet de las Cosas, los sistemas ciberfísicos, sensores y la computación en la nube. Estas herramientas permiten la

recopilación y análisis de datos en tiempo real, posibilitando una gestión de calidad más predictiva y proactiva (Alsadi, 2024)

Entre los beneficios principales de Calidad 4.0 se encuentran una mayor eficiencia operativa, reducción de desperdicios, mejora en la calidad de productos y servicios, y un incremento en la satisfacción del cliente. No obstante, este paradigma emergente enfrenta desafíos importantes, incluyendo la necesidad de consolidar sus fundamentos científicos y de superar obstáculos en la interoperabilidad tecnológica y las habilidades del personal (Kushwaha & Talib, 2025).

1.2.4 VUCA

El concepto VUCA, un acrónimo que denota volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad, emergió inicialmente del ámbito militar estadounidense a mediados de los años noventa y, desde entonces, ha adquirido una considerable relevancia en diversas esferas organizacionales (Tellez, Castañeda, & Cortes, 2022)

Este marco, como señala Terlato (2019), es fundamental para interpretar la dinámica de la era contemporánea. Coincidiendo con Bennett & Lemoine (2014), el panorama actual, caracterizado por su alta volatilidad e incertidumbre, complica notablemente la planificación estratégica debido a la inherente dificultad de comprender este entorno. La aplicación de *Calidad 4.0* se vuelve particularmente pertinente, ya que sus herramientas digitales optimizan los procesos en tiempo real. En un entorno signado por la volatilidad y la incertidumbre, la implementación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data permite a las empresas realizar ajustes inmediatos en sus procesos de calidad, asegurando la alineación con los estándares deseados sin importar las fluctuaciones del mercado.

Las tecnologías mencionadas ofrecen una visibilidad integral y continua de las operaciones, lo que facilita la identificación temprana de problemas y optimiza la toma de decisiones mediante el análisis de grandes volúmenes de datos. Esta capacidad para responder con rapidez no solo eleva la eficiencia operativa, sino que se convierte en un factor crucial para mantener la

competitividad en mercados altamente dinámicos y disruptivos (Sader, Husti, & Daroczi, 2021). En consonancia con este enfoque de adaptabilidad, Ruiz (2020, p. 58) destaca que la agilidad es vital para responder ante la ambigüedad, la comprensión es fundamental en contextos inciertos, y una visión clara del rumbo es indispensable cuando el entorno carece de certezas.

Además, la toma de decisiones inteligente en *Calidad 4.0*, especialmente en entornos VUCA, es fundamental para gestionar la calidad y mitigar la incertidumbre inherente a estos escenarios. El uso de Inteligencia Artificial (IA) y algoritmos predictivos posibilita a las organizaciones anticiparse a posibles problemas de calidad, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo riesgos. La integración de la IA facilita la predicción de fallos y defectos en los procesos de calidad, lo que optimiza los controles y garantiza productos de alta calidad, incluso frente a la imprevisibilidad del entorno.

De igual manera, las plataformas en la nube y los sistemas de colaboración en red posibilitan una gestión más eficiente de la calidad, al facilitar la interacción en tiempo real entre proveedores y clientes. Esta integración digital promueve una colaboración ágil y constante, elemento esencial para mantener una cadena de suministro flexible y eficiente frente a las disrupciones constantes que caracterizan al entorno globalizado actual (Antony, Sony, & Gnanaraja, 2022)

1.2.5 Cadena De Suministro en Entorno Vuca

Las cadenas de suministro que operan en contextos VUCA enfrentan condiciones altamente dinámicas que complican la estabilidad y la planificación. En este marco, la resiliencia se presenta como una capacidad fundamental, ya que permite a las organizaciones anticipar, resistir y recuperarse de interrupciones inesperadas. Gao, Feng y Zhang (2021) subrayan la importancia de una gestión efectiva de la resiliencia para asegurar la continuidad operacional en entornos cada vez más inestables.

Para responder a estos retos, las empresas deben desarrollar habilidades específicas que les permitan adaptarse con rapidez a los cambios, tales como la agilidad, la adaptabilidad y la alineación entre los distintos actores de la cadena

de suministro. Estas competencias, que forman parte del concepto de ambidiestralidad en la cadena, fortalecen la capacidad organizacional para responder eficazmente a situaciones imprevistas, tal como lo evidencian Aslam et al. (2020) en su estudio sobre resiliencia operativa.

Además, la transformación digital ha surgido como un aliado estratégico para gestionar la incertidumbre. El uso de tecnologías como Big Data, IoT y blockchain permite mejorar la visibilidad de los procesos, facilitar la toma de decisiones en tiempo real y aumentar la capacidad de anticipación ante disrupciones. En esta línea, Zouari, Ruel, & Viale (2021) concluyen que la digitalización contribuye significativamente al fortalecimiento de la resiliencia en la cadena de suministro, al proporcionar herramientas más eficaces para gestionar la complejidad del entorno.

La Resiliencia en Entornos VUCA

La resiliencia en entornos VUCA se define como la capacidad intrínseca de las organizaciones para ajustarse, recuperarse y prosperar frente a desafíos impredecibles y variables. No solo implica manejar disrupciones y cambios repentinos, sino también identificar y aprovechar oportunidades emergentes para mantener la competitividad. Esta resiliencia va más allá de la simple recuperación, enfocándose en la anticipación de problemas y la adaptación proactiva. Su implementación resulta crucial para asegurar la continuidad de las operaciones y fomentar la mejora continua, alineándose con los principios de Calidad 4.0, que integra tecnologías avanzadas para fortalecer esta capacidad.

Características, Técnicas y Tecnologías para una Resiliencia Efectiva

La puesta en práctica de la resiliencia en contextos VUCA se manifiesta mediante características como la adaptabilidad, la flexibilidad operativa, el monitoreo proactivo y la colaboración entre los diferentes actores involucrados.

En primer lugar, la adaptabilidad es esencial para afrontar los cambios inesperados y se logra mediante la integración de tecnologías que permiten ajustar los procesos en tiempo real. Dentro de Calidad 4.0, herramientas como

el Internet de las Cosas (IoT) facilitan la obtención de datos en tiempo real de los sistemas de producción y calidad, posibilitando ajustes inmediatos ante cualquier alteración en el entorno. Adicionalmente, la capacidad de respuesta rápida, impulsada por Big Data y el análisis predictivo, potencia esta adaptabilidad, dado que los datos recopilados pueden predecir posibles fallas o riesgos, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones basadas en evidencia antes de que los problemas se agraven (Oliveira, 2024)

La flexibilidad operativa constituye otro pilar fundamental de la resiliencia. Las empresas resilientes en entornos VUCA son capaces de ajustar sus operaciones con celeridad para responder a cambios en la demanda o en las condiciones del mercado. Las plataformas en la nube y la computación en la nube desempeñan un papel crucial en este aspecto, al permitir una rápida integración de datos y una colaboración fluida entre departamentos o con socios externos. Estas plataformas no solo optimizan la gestión de la calidad, sino que también facilitan una adaptación más ágil a las nuevas exigencias del mercado, al proporcionar un acceso sencillo y dinámico a información clave desde cualquier ubicación.

Finalmente, la colaboración interorganizacional es un factor clave para sostener la resiliencia a largo plazo. En entornos VUCA, las empresas deben no solo concentrarse en sus operaciones internas, sino también fortalecer las relaciones con proveedores y otros participantes de la cadena. Tecnologías como el blockchain se posicionan como herramientas esenciales para mejorar la transparencia y la trazabilidad en estas interacciones, aumentando la confianza entre las partes y facilitando respuestas rápidas ante contingencias. La adopción del blockchain permite un monitoreo seguro y eficiente de los procesos, asegurando que todas las partes tengan acceso a información consistente y actualizada en tiempo real, lo que reduce significativamente el riesgo de descoordinación en periodos de incertidumbre (Oliveira, 2024; Basana et al., 2025).

1.3 Marco Metodológico

1.3.1 Modalidad Básica de la Investigación

La investigación se desarrolló con el propósito de examinar cómo se puede integrar la Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro (SCM) y proponer un modelo conceptual unificado (SCQM4.0). Se definieron procedimientos claros para la búsqueda, selección, procesamiento y análisis de literatura científica relevante, lo cual permitió garantizar la validez y confiabilidad de los hallazgos.

Se empleó una modalidad bibliográfica-documental, realizando una revisión sistemática de artículos en bases de datos como Scopus. Se incluyeron publicaciones entre 2020 y 2025 que abordaran temas vinculados a Calidad 4.0, gestión de la cadena de suministro 4.0 e Industria 4.0. Esta estrategia permitió mapear el estado del arte y determinar vacíos conceptuales en la literatura existente.

1.3.2 Enfoque

La investigación siguió un enfoque mixto: cualitativo y cuantitativo. Se aplicó *Systematic Literature Review* (SLR) como proceso metodológico. Se utilizó una lógica inductiva, partiendo del análisis detallado de casos conceptuales y propuestas tecnológicas para construir generalizaciones a nivel teórico. La elección de este enfoque fue adecuada para explorar un terreno aún en consolidación académica, y su validez se reforzó mediante la selección de fuentes científicas reconocidas.

1.3.3 Nivel de Investigación

El estudio se ubicó en un nivel exploratorio y descriptivo, orientado a profundizar en la integración conceptual entre Calidad 4.0 y la gestión de la cadena de suministro. Se describieron las tecnologías emergentes, los desafíos contextuales (como los entornos VUCA) y los elementos estratégicos de la propuesta SCQM4.0. Este nivel permitió establecer una base sólida para futuras investigaciones empíricas.

1.3.4 Población de Estudio

La población objeto de análisis consistió en una muestra intencionada de artículos científicos, seleccionados por su relevancia temática, actualidad (2020–2025) y rigor metodológico. No se trabajó con individuos, sino con un corpus documental que incluyó estudios empíricos, teóricos y conceptuales sobre *Calidad 4.0*, digitalización y resiliencia en la cadena de suministro.

1.3.5 Tamaño de la Muestra

Debido a la naturaleza cualitativa y documental de esta investigación, no se calculó una muestra probabilística mediante fórmulas estadísticas. En su lugar, se utilizó una muestra intencionada o no probabilística, compuesta por un total de 27 artículos científicos seleccionados por su relevancia temática y pertinencia metodológica.

Estos documentos fueron obtenidos de bases de datos académicas reconocidas como Scopus. Los criterios de inclusión consideraron: artículos publicados entre 2020 y 2025, escritos en inglés o español, con contenido enfocado en *Calidad 4.0*, Supply Chain 4.0, Industria 4.0 y entornos VUCA. Esta estrategia permitió abordar el problema de investigación desde una base sólida y actualizada (Snyder, 2019)

1.3.6 Técnicas de recolección de datos

La técnica principal utilizada para la recolección de datos fue la revisión sistemática de literatura científica. Se aplicó una estrategia de búsqueda estructurada con palabras clave como: "Quality 4.0" OR "TMQ 4.0" OR "Industry 4.0 quality management" OR "Digital Quality management" and "supply chain" OR "supply chain management" OR "industry 4.0" "VUCA". Los materiales se obtuvieron entre febrero y mayo de 2025, y se analizaron artículos teóricos, empíricos y de revisión.

El proceso de selección de fuentes siguió los principios del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado para estudios conceptuales. Se revisaron títulos, resúmenes y texto completo para evaluar su adecuación al tema de estudio, excluyendo duplicados o trabajos sin revisión por pares. Posteriormente, se

organizó la información en fichas bibliográficas y matrices de análisis temático, que permitieron identificar patrones, vacíos y enfoques emergentes relacionados con la integración de Calidad 4.0 en la cadena de suministro.

1.3.7 Plan de recolección de datos

Tabla 1

Recolección de datos

Nº	Preguntas Frecuentes	Explicación
1	¿Para qué?	Para recopilar, clasificar y analizar información científica sobre Calidad 4.0 y Supply Chain Management 4.0.
2	¿De qué fuentes?	Artículos científicos de bases de datos indexadas en Scopus.
3	¿Sobre qué aspectos?	Tecnologías de Calidad 4.0, resiliencia de la cadena de suministro, digitalización, enfoque VUCA.
4	¿Quién investiga?	Rodríguez Intriago María José, estudiante de Ingeniería Industrial.
5	¿Cuándo?	Entre febrero y mayo de 2025.
6	¿Dónde?	Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí – Facultad de Ingeniería.
7	¿Cuántas veces?	Se realizó una única recopilación sistemática y codificación temática.
8	¿Qué técnica de recolección?	Revisión documental y análisis sistemático de literatura.
9	¿Con qué?	Fichas bibliográficas, matriz de análisis temático, gestores de referencia.

10 ¿En qué situación?	Revisión académica individual desde entornos digitales de acceso universitario.
-----------------------	---

1.3.8 Procesamiento de la Información

La información fue analizada mediante técnicas cualitativas, específicamente el análisis de contenido y el análisis temático. Este método permitió identificar patrones y temas relevantes en la literatura revisada, organizando los datos en categorías relacionadas con las tecnologías habilitadoras de Calidad 4.0, la transformación de la gestión en la cadena de suministro y la resiliencia en contextos VUCA. Después, se aplicó la codificación axial para relacionar las categorías encontradas, facilitando una visión estructurada del problema de investigación. Esta técnica permitió establecer vínculos entre conceptos y generar una comprensión más profunda de los enfoques estudiados. Para este proceso se utilizaron matrices en Excel para organizar las referencias y mantener la trazabilidad de los datos.

El enfoque cualitativo fue adecuado, ya que permitió interpretar fenómenos complejos desde una perspectiva teórica. Aunque no se utilizaron datos estadísticos ni se trabajó con población, se logró construir conocimiento útil para futuras investigaciones. Este tipo de análisis permite descubrir relaciones y generar modelos teóricos basados en datos revisados de forma sistemática.

Capítulo 2

Este capítulo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos en la investigación sobre cómo la adopción de *Calidad 4.0* ha transformado la gestión de la cadena de suministro, particularmente en el contexto de los desafíos que presentan los entornos VUCA. La implementación de estas tecnologías permite a las empresas no solo mejorar la calidad de los productos y servicios, sino también ser más resilientes y ágiles frente a interrupciones y cambios imprevistos.

2.1 Técnicas de Recolección de Datos

La técnica principal empleada en esta investigación para la recolección de datos fue la revisión sistemática de la literatura científica. Este método se utiliza ampliamente para sintetizar y evaluar la evidencia existente sobre un tema específico. La revisión sistemática garantiza que la información recolectada sea rigurosa, relevante y fiable, proporcionando una base sólida para el análisis del impacto de la Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro, especialmente en el contexto de un entorno VUCA.

Aplicación del Método PRISMA

La revisión sistemática de la literatura siguió los principios del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado para estudios conceptuales y cualitativos. Este método proporciona una estructura clara y rigurosa para realizar revisiones sistemáticas, asegurando que los estudios seleccionados sean relevantes y confiables. A continuación, se describen las fases del proceso PRISMA:

Definición de Criterios de Inclusión y Exclusión.

Se definieron criterios específicos para seleccionar los artículos. Solo se incluyeron aquellos que trataban sobre gestión de calidad en la cadena de suministro dentro del contexto de Calidad 4.0. Se excluyeron artículos no revisados por pares, duplicados o aquellos que no abordaban tecnologías digitales en la cadena de suministro.

Búsqueda y Selección Inicial.

La búsqueda se realizó utilizando las palabras clave definidas previamente, como “Quality 4.0”, “TMQ 4.0”, “Industry 4.0 quality management”, entre otras. Se revisaron títulos, resúmenes y, en algunos casos, textos completos de los artículos obtenidos, lo que permitió identificar aquellos con mayor relevancia para el estudio.

Evaluación y Filtrado.

Se evaluó la relevancia y la calidad metodológica de los artículos seleccionados. Los artículos que no cumplían con los criterios, como aquellos que no trataban sobre tecnologías digitales o se enfocaban en industrias no relacionadas con la Industria 4.0, fueron excluidos. Esto permitió filtrar los estudios más pertinentes.

Extracción y Organización de Datos.

Una vez seleccionados los artículos, se extrajeron los datos clave de cada estudio, tales como la metodología utilizada, los resultados principales, las tecnologías descritas y las implicaciones para la gestión de calidad en la cadena de suministro. Estos datos fueron organizados en fichas bibliográficas y sintetizados en matrices de análisis temático, lo que facilitó la identificación de patrones y tendencias emergentes en la literatura.

Análisis y Síntesis de los Resultados.

Finalmente, se realizó un análisis temático de los datos recopilados. Este análisis permitió identificar cómo las tecnologías de Calidad 4.0 transforman la gestión de calidad en la cadena de suministro y cómo estas tecnologías mejoran la resiliencia, eficiencia y adaptabilidad de las organizaciones frente a los desafíos del entorno VUCA.

Ventajas de la Revisión Sistemática

La principal ventaja de utilizar la revisión sistemática como técnica de recolección de datos es que proporciona una visión holística y exhaustiva del estado actual del conocimiento en el área de Calidad 4.0 y su aplicación en la cadena de suministro. Al seguir un proceso estructurado, esta metodología

asegura que los datos recolectados sean de alta calidad, relevantes y representen un panorama completo de las tendencias y desarrollos más recientes. Además, la revisión sistemática facilita la identificación de brechas en la literatura, lo que es fundamental para el desarrollo de recomendaciones prácticas para las empresas y las futuras líneas de investigación. A través de esta técnica, se pueden identificar oportunidades para la mejora de la gestión de calidad en la cadena de suministro, así como las áreas que requieren mayor atención en estudios futuros.

2.2 Formulación de la Pregunta de Investigación

La pregunta central de la investigación que guía este estudio es: *¿Cómo la Calidad 4.0 puede transformar y optimizar la cadena de suministro para que sea más robusta y eficaz frente a los desafíos de un entorno VUCA?* Esta pregunta principal se desglosa en las siguientes sub-preguntas:

- ¿Cuáles son las principales técnicas de Calidad 4.0 que se están utilizando en la gestión de la cadena de suministro, y cómo están revolucionando los procesos operativos a través de herramientas digitales e innovaciones tecnológicas?
- ¿De qué manera las técnicas de Calidad 4.0 impactan en la eficiencia, trazabilidad y toma de decisiones dentro de la cadena de suministro, y qué mejoras se observan en productividad, reducción de errores y agilidad operativa?
- ¿Cómo contribuye la implementación de enfoques de Calidad 4.0 en reforzar la cadena de suministro frente a entornos VUCA, y cuál es su impacto en la resiliencia, adaptabilidad y sostenibilidad empresarial?

2.3 Búsqueda de Literatura Relevante

La segunda fase metodológica correspondió al diseño y ejecución de la estrategia de búsqueda bibliográfica, orientada a identificar literatura científica actual y relevante relacionada con la integración de la Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro, en escenarios caracterizados por alta volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad, es decir, en entornos VUCA. Esta etapa respondió directamente al objetivo de consolidar un marco conceptual

robusto que permitiera comprender los impactos de la transformación digital en la calidad organizacional y su contribución a la resiliencia operativa.

La búsqueda se desarrolló utilizando la base de datos Scopus, debido a su reconocida cobertura y rigurosidad académica en publicaciones indexadas y revisadas por pares. Para asegurar la pertinencia de los resultados, se definieron cuatro ejes temáticos clave: Calidad 4.0, Industria 4.0, gestión de la cadena de suministro y entornos VUCA, a partir de los cuales se estructuraron combinaciones de palabras clave y operadores booleanos. La búsqueda se aplicó sobre los campos de título, resumen y palabras clave, priorizando estudios publicados entre 2020 y 2024, con acceso al texto completo.

Tabla 2

Criterios de Scopus.

Search Topic	Keywords	Search Strings	Databases
Quality 4.0	“Quality 4.0”, “TQM 4.0”, “Digital Quality management”, “Industry 4.0 quality management”	(“Quality 4.0” OR “TQM 4.0” OR “Digital Quality management” OR “Industry 4.0 quality management”)	Scopus
Supply Chain	“supply chain”, “supply chain management”, “logistics”, “value chain”	(“supply chain” OR “supply chain management” OR “logistics” OR “value chain”)	Scopus
Industry 4.0	“Industry 4.0”, “Fourth industrial revolution”, “smart manufacturing”	(“Industry 4.0” OR “Fourth industrial revolution” OR “smart manufacturing”)	Scopus
VUCA	“VUCA”, “volatility”, “uncertainty”,	(“VUCA” OR “volatility” OR “uncertainty” OR “complexity” OR	Scopus

“complexity”, “ambiguity”, “resilience”	“ambiguity” OR “resilience”
--	--------------------------------

2.4 Selección y Evaluación de la Literatura

La búsqueda inicial se realizó considerando el título, el resumen y las palabras clave de los artículos, obteniendo un total de 27 artículos sin duplicados en las bases de datos Scopus. Se aplicaron los criterios de inclusión descritos en la siguiente tabla.

Tabla 3

Criterio de Inclusión

Search Topic	Keywords	Search Strings	Databases
Quality 4.0	“Quality 4.0”, “TQM 4.0”, “Digital Quality management”, “Industry 4.0 quality management”	(“Quality 4.0” OR “TQM 4.0” OR “Digital Quality management” OR “Industry 4.0 quality management”)	Scopus
Supply Chain	“supply chain”, “supply chain management”, “logistics”, “value chain”	(“supply chain” OR “supply chain management” OR “logistics” OR “value chain”)	Scopus
Industry 4.0	“Industry 4.0”, “Fourth industrial revolution”, “smart manufacturing”	(“Industry 4.0” OR “Fourth industrial revolution” OR “smart manufacturing”)	Scopus
VUCA	“VUCA”, “volatility”, “uncertainty”, “complexity”, “ambiguity”, “resilience”	(“VUCA” OR “volatility” OR “uncertainty” OR “complexity” OR “ambiguity” OR “resilience”)	Scopus

Durante esta revisión, se analizaron los títulos, resúmenes y posteriormente el texto completo de los 27 artículos. De ellos, todos fueron considerados relevantes, ya que ofrecían enfoques teóricos, conceptuales o aplicaciones prácticas vinculadas a las tecnologías habilitadoras de la Calidad 4.0 (como Big Data, IoT, IA y blockchain), así como a la mejora del desempeño, la adaptación organizacional y la sostenibilidad en entornos VUCA. Finalmente, a partir del análisis de las citas y referencias cruzadas dentro de estos estudios, los cuales aportaron marcos teóricos sólidos, definiciones integradoras y estrategias aplicables que fundamentan la construcción del modelo conceptual propuesto en la presente investigación.

Análisis y Síntesis

En esta etapa, se procedió al análisis detallado del conjunto de 27 artículos científicos seleccionados, con el objetivo de extraer las principales contribuciones teóricas, metodológicas y prácticas en torno a la integración de Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro en contextos caracterizados por volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad (VUCA). La revisión se llevó a cabo siguiendo los enfoques de interpretación, integración, agregación y explicación propuestos por la metodología de revisión sistemática de la literatura (SLR).

Dado el carácter heterogéneo de los artículos incluidos en la revisión, se emplearon los enfoques de integración y agregación como herramientas fundamentales para sintetizar conocimientos diversos y responder a las preguntas de investigación. Este procedimiento permitió comparar perspectivas conceptuales, identificar patrones comunes, mapear brechas en el conocimiento y estructurar las bases para el modelo teórico propuesto.

La clasificación y el análisis de cada documento se desarrolló con base en los parámetros definidos en la Tabla 3, los cuales abarcan aspectos descriptivos, metodológicos, analíticos y estratégicos. Estos parámetros permitieron ordenar la literatura según criterios como el tipo de enfoque utilizado (teórico o empírico), el nodo de la cadena de suministro abordado, las capacidades organizacionales identificadas, las dimensiones de sostenibilidad, la gestión del riesgo y la inclusión de actores clave en los procesos de

transformación digital. Esta estructura de análisis facilitó la comparación entre estudios y permitió evidenciar cómo se articula la Calidad 4.0 con la resiliencia organizacional, bajo los desafíos impuestos por entornos VUCA.

Tabla 4

Parámetros utilizados para el análisis de los artículos

Parámetro	Aspecto Analizado
Análisis descriptivo	Publicación de años. Revista Área/sector Territorio

Resultados

Si bien el interés en la intersección entre la Industria 4.0 y la gestión de la calidad pudo haber comenzado a gestarse en la literatura científica alrededor de 2018, coincidiendo con el fortalecimiento del enfoque de Industria 4.0 y el surgimiento del término *Calidad 4.0*, el análisis de las 27 publicaciones seleccionadas para esta revisión demuestra que la aparición de estudios relevantes se intensificó notablemente a partir del año 2020.

Como se visualiza en la ilustración 1, a partir de ese momento, la producción académica ha mostrado una clara y creciente tendencia, consolidándose con un volumen significativo de artículos entre los años 2023 (8 publicaciones) y, de manera particularmente destacada, en 2025 (16 publicaciones). La prominencia de 2025, incluso con publicaciones anticipadas, subraya el interés actual y proyectado de la comunidad científica.

Esta distribución temporal evidencia un interés sostenido y en aceleración por comprender profundamente cómo la transformación digital y las tecnologías de la Industria 4.0 están afectando la calidad y la resiliencia en las cadenas de

suministro, consolidando *Calidad 4.0* como un campo de estudio dinámico y de creciente relevancia."

Figura 1

Tendencia de Publicaciones sobre Calidad 4.0 por Año.



Respecto a la distribución por revistas científicas, los 27 artículos revisados provienen de un total de 21 revistas diferentes, lo que sugiere una dispersión temática considerable, típica de campos multidisciplinarios y emergentes como la gestión de calidad digital. No obstante, una parte significativa de los artículos se concentró en un grupo de revistas especializadas. Específicamente, el 40.6% de los artículos se distribuyen en cinco revistas principales, destacándose por su enfoque en gestión de calidad, ingeniería industrial, producción y áreas relacionadas.

Tabla 5

Principales revistas científicas por número de artículos seleccionados

Revista	Número de artículos	Porcentaje (%)
International Journal of Quality & Reliability Management	5	17,24 %

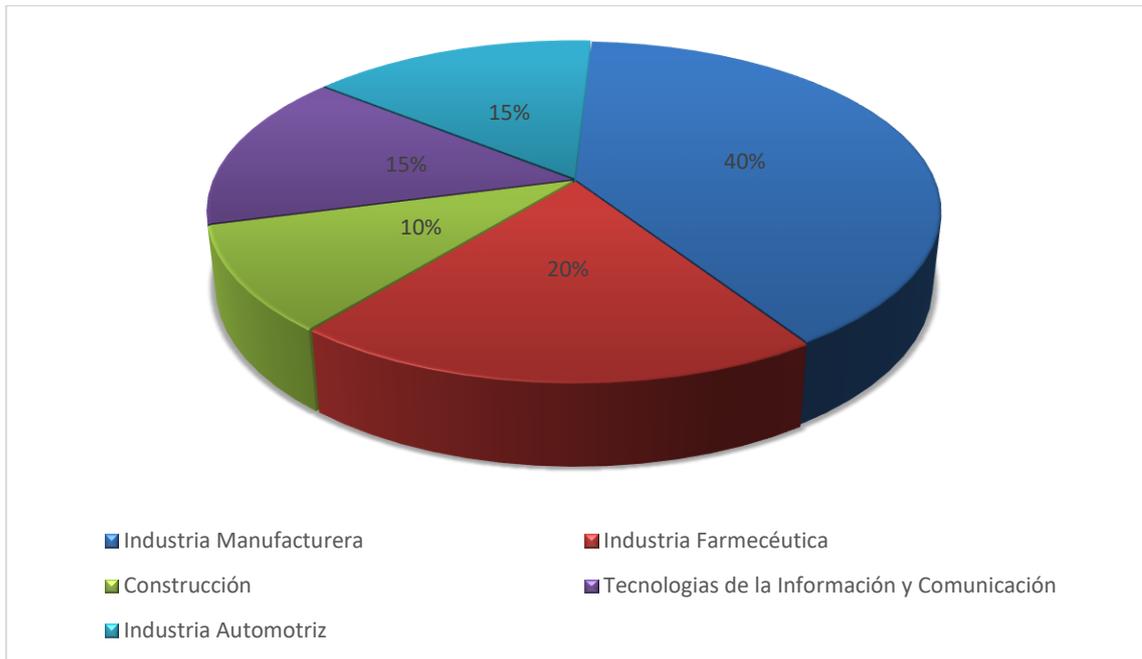
The TQM Journal	4	13,79 %
Production & Manufacturing Research	2	6,90 %
International Journal of Industrial Engineering & Production Research	1	3,45%
Food Control	1	3,45 %
IEEE Transactions on Engineering Management	1	3,45 %
Computers & Industrial Engineering	1	3,45 %
Sustainability	1	3,45 %
International Journal of Quality Engineering and Technology	1	3,45 %
Total Quality Management & Business Excellence	1	3,45 %
Otros (11 revistas con 1 artículo cada una)	9	37,93 %
Total	27	100 %

La adopción de Calidad 4.0 ha generado transformaciones significativas en diversos sectores industriales, impulsada por la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el Big Data. Estos avances han permitido a las industrias mejorar sus procesos de gestión de calidad, optimizar su eficiencia operativa y ofrecer productos más personalizados y de mayor calidad. Sin embargo, cada sector enfrenta desafíos específicos en la implementación de Calidad 4.0, dependiendo de su grado de digitalización, la complejidad de los procesos involucrados y las necesidades de capacitación de su fuerza laboral.

La gráfica que sigue ilustra la distribución sectorial en la adopción de Calidad 4.0 en los sectores clave mencionados. Los datos reflejan cómo cada sector está incorporando las tecnologías de Industria 4.0 para mejorar la gestión de calidad en sus procesos.

Figura 2

Distribución Sectorial

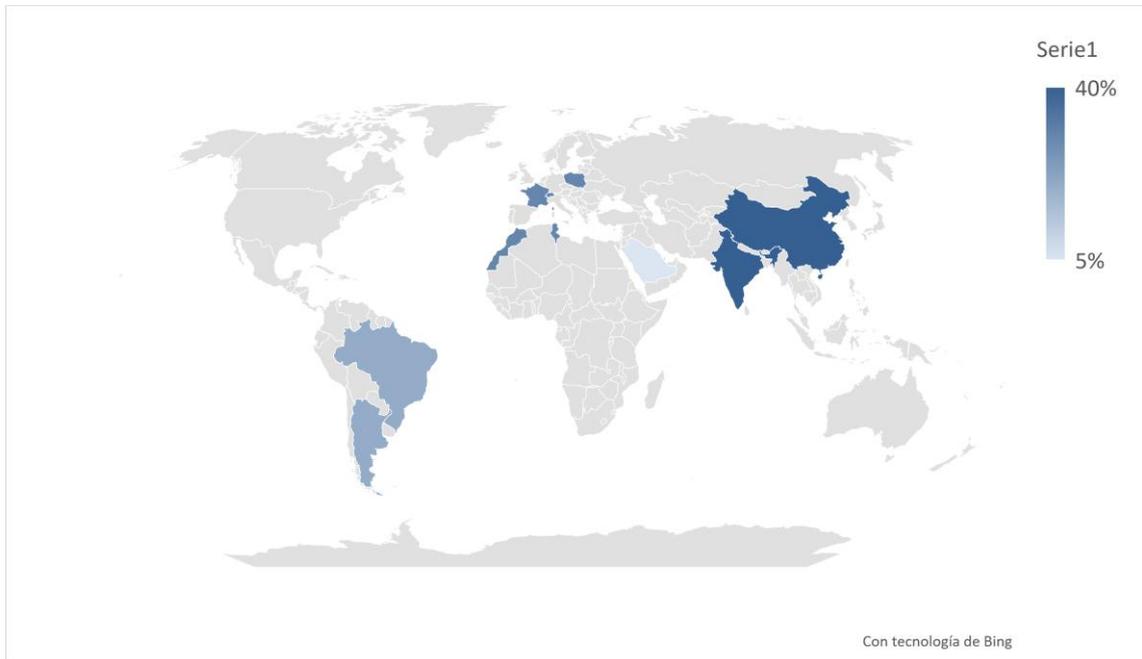


Finalmente, la Calidad 4.0 a nivel global muestra una marcada variabilidad según la región, debido a los diferentes niveles de infraestructura tecnológica, capacidad de adaptación, y desarrollo de la fuerza laboral. Cada región enfrenta desafíos particulares que afectan la implementación de las tecnologías avanzadas asociadas a la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0). Entre las tecnologías más relevantes se encuentran el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el Big Data. Estos avances han permitido a diversas industrias mejorar la gestión de calidad, optimizar procesos y aumentar la eficiencia. Sin embargo, la capacidad de adoptar estas tecnologías y su implementación exitosa dependen en gran medida de factores locales, como el entorno regulador, el nivel de madurez digital y la capacidad de inversión en formación y recursos humanos.

A continuación, se realiza un análisis geográfico detallado de la adopción de Calidad 4.0, destacando los países y regiones más relevantes que están liderando este proceso, a partir de los estudios realizados en diferentes partes del mundo.

Figura 3

Distribución geográfica



En Asia, se observa un fuerte enfoque en la integración de tecnologías emergentes como el IoT y la inteligencia artificial (IA), especialmente en países donde la transformación digital ha mejorado significativamente la gestión de calidad. En Europa, países como Francia y Polonia han logrado integrar Calidad 4.0 en sectores clave de la industria manufacturera, aunque enfrentan desafíos relacionados con la infraestructura tecnológica. América Latina ha comenzado a adoptar tecnologías avanzadas en sectores como el agri-food, aunque la falta de capacitación digital y barreras económicas limitan su adopción total.

Por otro lado, en África y Medio Oriente, la implementación de Calidad 4.0 es aún incipiente, con avances en Sudáfrica y Arabia Saudita principalmente en construcción y gestión de proyectos, pero la falta de recursos y la resistencia al cambio dificultan su expansión. Este panorama revela que, a pesar de su creciente adopción, los retos relacionados con infraestructura, capacitación y liderazgo estratégico siguen siendo barreras clave para maximizar los beneficios de Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro a nivel global.

Capítulo 3

El análisis bibliométrico de los artículos revisados demuestra que, entre los años 2020 y 2025, la investigación en torno a Calidad 4.0 ha experimentado un crecimiento sostenido, principalmente impulsado por la incorporación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Machine Learning, Blockchain e Inteligencia Artificial (IA). Estas herramientas han captado la atención de la comunidad científica debido a su potencial para transformar los sistemas tradicionales de gestión de la calidad y adaptarlos a los nuevos retos del entorno industrial (Bisht et al., 2025; Kushwaha & Talib, 2024; Swarnakar et al., 2023; Ranjith et al., 2021).

La literatura evidencia que estas tecnologías no solo permiten una automatización más inteligente, sino que facilitan también una toma de decisiones fundamentada en datos en tiempo real, lo que resulta fundamental en contextos cada vez más dominados por la incertidumbre, la volatilidad y la complejidad. En este sentido, el paradigma VUCA proporciona un marco conceptual útil para interpretar cómo las organizaciones enfrentan entornos turbulentos y cómo la Calidad 4.0 actúa como una respuesta estratégica ante dichos desafíos (Ravichandran et al., 2022; Ferreira & Cunha, 2023).

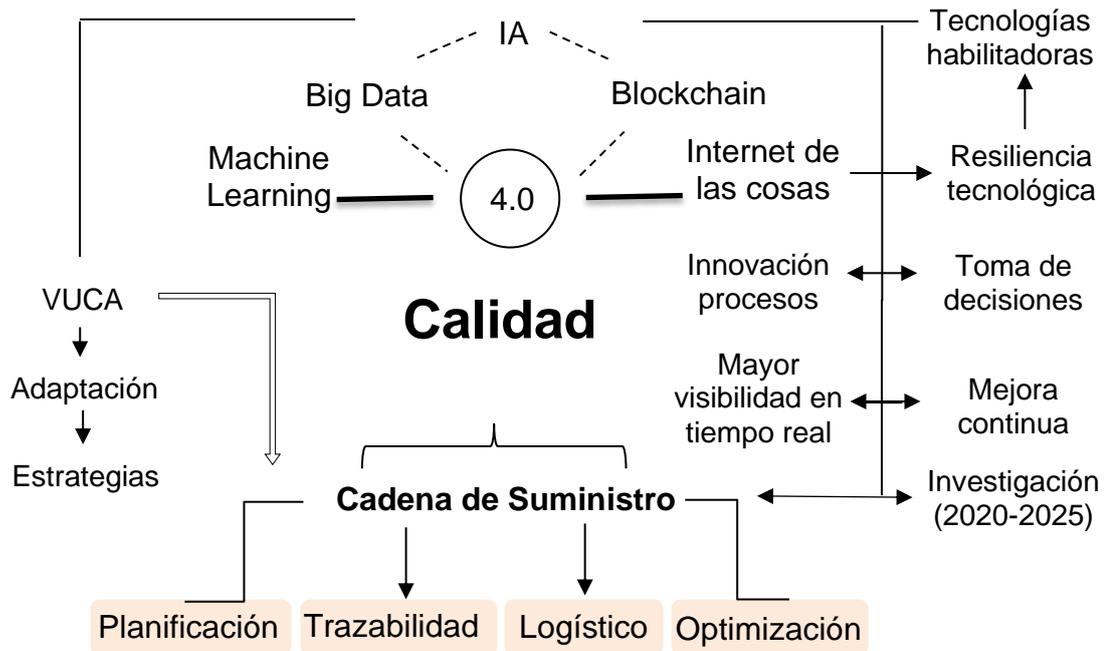
Publicaciones especializadas como *International Journal of Quality & Reliability Management*, *The TQM Journal* y *Production & Manufacturing Research* reflejan este creciente interés por comprender cómo las tecnologías digitales están modificando profundamente la forma en que se gestiona la calidad. Si bien tecnologías como IoT y Big Data continúan siendo predominantes, se observa un avance notable en la adopción de Blockchain y Machine Learning, especialmente en procesos que demandan trazabilidad, automatización y mayor resiliencia operativa.

Esta evolución ha permitido a muchas empresas optimizar la gestión de proveedores, mejorar la eficiencia de sus sistemas de producción y responder con mayor agilidad ante escenarios inciertos. No obstante, se identifican todavía brechas importantes en la implementación efectiva de estas tecnologías, en

especial dentro de los ámbitos logísticos y de abastecimiento, lo que plantea oportunidades relevantes para futuras líneas de investigación.

Figura 4

Distribución de análisis bibliométrico



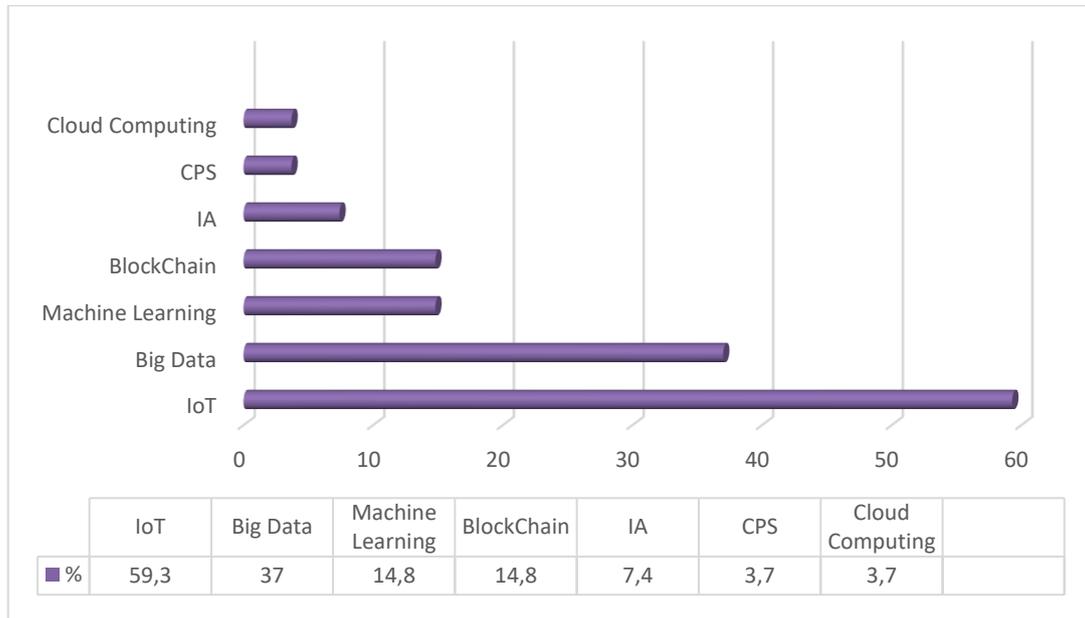
El análisis de los 27 artículos revisados sobre Calidad 4.0 revela una clara prevalencia de tecnologías clave que están transformando la gestión de la calidad en diversas industrias. A continuación, se presenta una descripción detallada de las tecnologías más utilizadas, los procesos organizacionales modificados, y el impacto de los factores del entorno VUCA en la adopción de Calidad 4.0.

3.1 Tecnologías Predominantes en Calidad 4.0

El análisis de las herramientas utilizadas en el marco de Calidad 4.0 revela una serie de tecnologías que están redefiniendo los procesos organizacionales y de control de calidad:

Figura 5

Distribución de Tecnologías de Calidad 4.0



Los 27 artículos revisados sobre Calidad 4.0 destaca la prevalencia de ciertas tecnologías clave como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Machine Learning y Blockchain, que son esenciales para la transformación digital y la gestión de la calidad en las organizaciones.

Internet de las Cosas (IoT)

El IoT se presenta como la tecnología más prevalente en Calidad 4.0, con un 59,3% de aparición en los artículos revisados. Esto se debe a su capacidad para digitalizar procesos y permitir la integración de datos en tiempo real, lo que es esencial para optimizar los procesos de producción y mejorar la gestión de la calidad. El IoT facilita la conexión de dispositivos a través de Internet, lo que permite monitorear y controlar los sistemas de producción de forma remota. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también ayuda a prever y prevenir posibles fallos en los equipos mediante la recolección continua de datos.

Su valor radica en la capacidad para ofrecer visibilidad continua sobre los procesos productivos. Esto permite una supervisión constante y la toma de decisiones informadas, optimizando tanto la producción como los flujos en la

cadena de suministro. Las empresas que integran IoT logran responder de forma proactiva ante cambios operativos, elevando los niveles de eficiencia.

Big Data

Big Data, presente en un 37% de los artículos revisados, es otra tecnología clave dentro de Calidad 4.0. Esta herramienta posibilita la recopilación y el análisis de grandes volúmenes de datos generados durante los procesos productivos y a lo largo de la cadena de suministro. La habilidad de Big Data para procesar rápidamente información masiva permite la toma de decisiones estratégicas basadas en datos sólidos. Una aplicación fundamental de Big Data en la gestión de calidad es la predicción de posibles fallos o anomalías en la producción. Al analizar datos históricos y en tiempo real, las organizaciones pueden anticiparse a problemas y tomar medidas preventivas que eviten impactos negativos en la calidad del producto. Asimismo, Big Data contribuye a mejorar la eficiencia en la cadena de suministro, ya que permite ajustar las operaciones y recursos según las tendencias de demanda y los patrones de consumo, lo que se traduce en reducción de costos y aumento de productividad.

Machine Learning

El Machine Learning (ML), con una aparición del 14,8%, está ganando relevancia dentro de las tecnologías de Calidad 4.0, especialmente en áreas de análisis predictivo y optimización. Machine learning utiliza algoritmos para analizar datos y aprender de ellos, sin necesidad de programación explícita, lo que permite a las organizaciones mejorar continuamente la gestión de calidad. Esta tecnología permite la creación de modelos predictivos que pueden prever fallos en los equipos, identificar patrones de errores o ajustar parámetros de producción para mejorar los resultados.

La incorporación del aprendizaje automático potencia el enfoque predictivo en la gestión de calidad. Esta tecnología permite anticipar posibles interrupciones, optimizar el mantenimiento y reducir los tiempos de inactividad. Como resultado, se refuerza la continuidad operativa y la agilidad en entornos cambiantes.

Blockchain

Blockchain, también con una aparición del 14,8%, Este sistema de registros descentralizados garantiza la integridad de la información y proporciona transparencia en cada etapa del ciclo de vida del producto.

Su principal ventaja radica en asegurar la integridad de los datos y ofrecer una visibilidad completa a lo largo de la cadena, lo que incrementa la confianza tanto de consumidores como de empresas respecto a la calidad y el origen de los productos. Adicionalmente, Blockchain fortalece la seguridad de las transacciones y el cumplimiento de normativas internacionales, lo que refuerza el control de calidad en todas las fases del proceso.

Inteligencia Artificial (IA)

La Inteligencia Artificial (IA), con un 7,4% de aparición, juega un rol importante al automatizar procesos y mejorar la toma de decisiones en tiempo real, optimizando continuamente los sistemas de gestión de calidad. Aunque su presencia es menor en comparación con IoT y Big Data, la IA tiene un enorme potencial para transformar la gestión y aseguramiento de la calidad. Su aplicación permite automatizar inspecciones y controles, lo que reduce errores humanos y aumenta la consistencia de los productos. Además, la IA analiza grandes volúmenes de datos para proporcionar recomendaciones en tiempo real, optimizando la eficiencia operativa en todos los niveles organizacionales.

Sistemas Ciberfísicos (CPS)

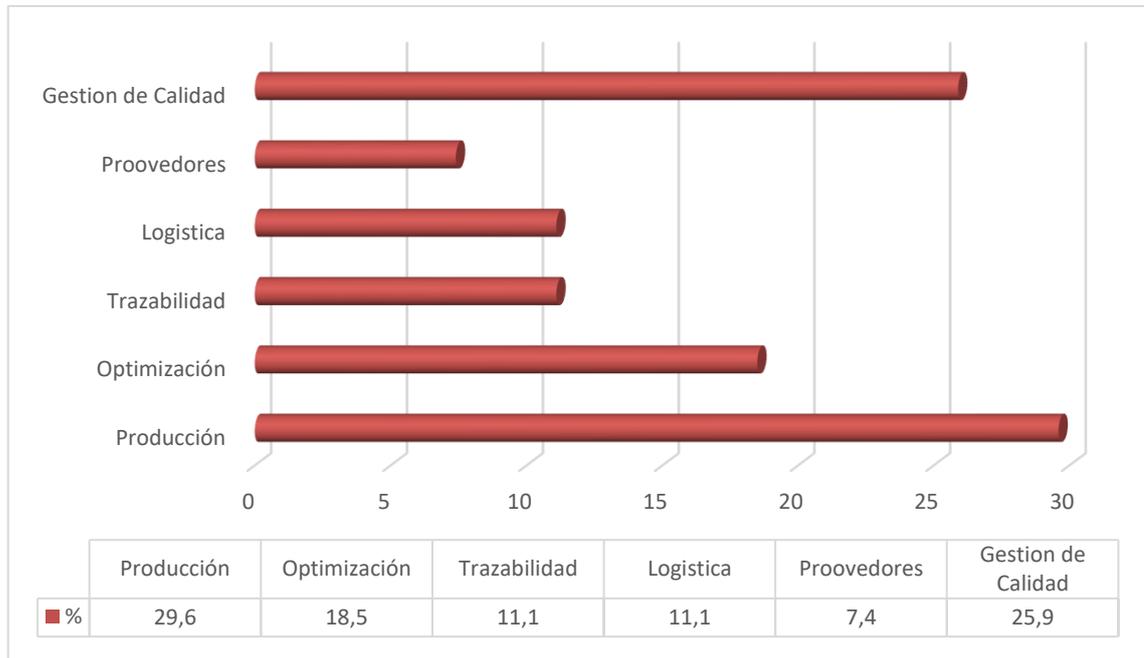
Los Sistemas Ciberfísicos (CPS), que tienen una participación del 3,7%, integran sistemas físicos y digitales para desarrollar soluciones avanzadas de automatización en la gestión de calidad. Aunque su adopción es menos prominente, los CPS tienen un gran potencial para mejorar el monitoreo en tiempo real de los procesos productivos, optimizando tanto la gestión de calidad como la eficiencia operativa. Al conectar el mundo físico con el digital, estos sistemas permiten un control más preciso y una gestión proactiva que garantiza la calidad durante toda la producción.

3.2 Modificaciones en la Cadena de Suministro

La implementación de Calidad 4.0 ha provocado transformaciones profundas en varios procesos organizacionales dentro de la cadena de suministro. Las tecnologías emergentes han impulsado la eficiencia operativa, la transparencia y la resiliencia ante los desafíos del entorno VUCA. A continuación, se detallan las áreas más impactadas por estas tecnologías.

Figura 6

Modificaciones En La Cadena De Suministro Con Calidad



Producción

La producción es el área más impactada por la adopción de Calidad 4.0, con un 29,6% de relevancia. El uso de tecnologías como IoT y Big Data ha permitido realizar ajustes en tiempo real durante los procesos de producción, mejorando la eficiencia operativa. El IoT facilita la digitalización de los procesos y la integración de datos en tiempo real, lo que ayuda a las organizaciones a monitorear y ajustar sus sistemas de producción, reduciendo tiempos de inactividad y optimizando el rendimiento. Big Data permite procesar grandes volúmenes de datos, lo que facilita la toma de decisiones informadas para mejorar la calidad y aumentar la productividad.

Gestión de Calidad

La gestión de calidad, con un 25,9% de relevancia, es crucial en cualquier industria, pero en especial en sectores sensibles como el alimentario, donde la seguridad y la calidad del producto son esenciales. Calidad 4.0 ofrece herramientas que permiten garantizar que los productos cumplan con los estándares establecidos, tanto internos como externos. Tecnologías como el IoT, Big Data y machine learning permiten monitorear constantemente la calidad, anticipar fallos y mejorar la consistencia de los productos. Además, la adopción de sistemas predictivos ayuda a reducir errores y mejorar la resiliencia de la cadena de suministro frente a imprevistos, asegurando que los productos finales sean seguros y de alta calidad.

Optimización

La optimización de procesos, que representa el 18,5% de la atención en los estudios, ha sido fundamental para mejorar la eficiencia y reducir costos mediante un uso más efectivo de recursos como la energía, las materias primas y la mano de obra. Big Data y Machine Learning facilitan la identificación de los mejores parámetros operativos para maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio. Este proceso de optimización continua contribuye a la sostenibilidad y la eficiencia económica, además de permitir a las empresas adaptarse a las fluctuaciones del mercado y la demanda.

Trazabilidad y Logística

La trazabilidad y la logística, que comparten un 11,1% de relevancia, también han experimentado mejoras sustanciales. La trazabilidad se beneficia principalmente del uso de Blockchain, que permite rastrear los productos a lo largo de toda la cadena, garantizando su seguridad y calidad.

Esto es particularmente importante en sectores como el alimentario, donde la trazabilidad es clave para gestionar crisis y garantizar la seguridad alimentaria, permitiendo identificar y retirar con rapidez productos contaminados. En cuanto a la logística, su gestión ha mejorado gracias a la integración de IoT y Big Data, que permiten controlar inventarios en tiempo real, optimizar rutas de transporte y reducir costos. La eficiencia logística es esencial en sectores con

productos perecederos, donde las entregas rápidas mantienen la frescura y calidad.

Gestión de Proveedores

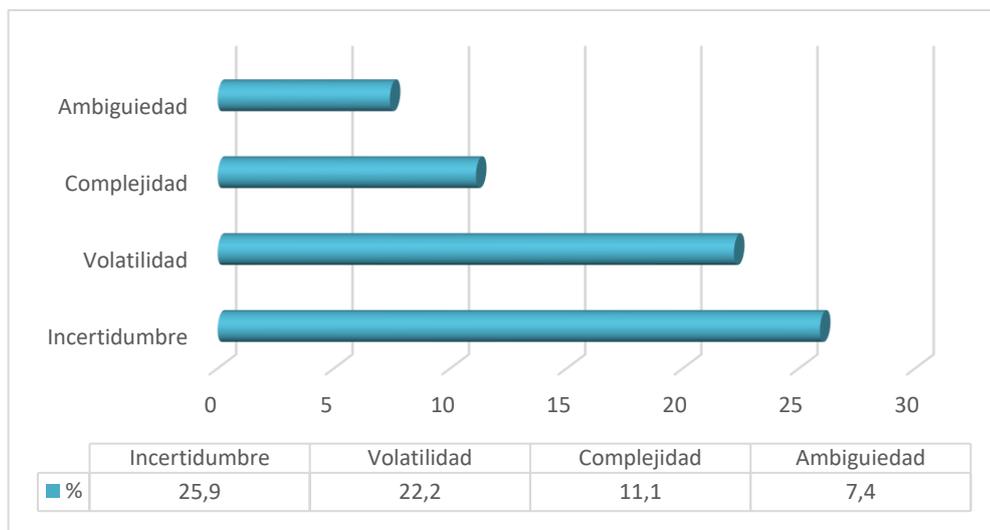
La gestión de proveedores ha sido una de las áreas menos exploradas, con un 7,4% de relevancia, pero sigue siendo fundamental. La calidad de los insumos impacta directamente en la calidad del producto final. Con el uso de tecnologías como blockchain y IoT, las organizaciones pueden mejorar la transparencia en las transacciones con los proveedores y monitorear el rendimiento de los mismos. Esto ayuda a garantizar que los proveedores cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos, fortaleciendo la relación comercial y mejorando la eficiencia en la cadena de suministro.

3.3 Relación con el Entorno VUCA

El análisis demuestra que Calidad 4.0 está estrechamente ligada a los factores del entorno VUCA. Los estudios revisados se centran particularmente en los aspectos de incertidumbre y volatilidad, evidenciando cómo las tecnologías emergentes permiten a las organizaciones gestionar y adaptarse a estos desafíos.

Figura 7

Relación De Quality Calidad 4.0 Con Los Factores VUCA



Incertidumbre

La incertidumbre es uno de los factores más estudiados en relación con Calidad 4.0, con un 25,9% de relevancia. Las tecnologías como Big Data y machine learning permiten a las organizaciones gestionar la incertidumbre mediante el análisis de grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real. Big Data facilita la recopilación y análisis de datos masivos, lo que permite a las empresas identificar patrones y prever posibles problemas antes de que ocurran. Machine learning, por su parte, mejora la predicción de tendencias y la anticipación de cambios en la demanda y los recursos, lo que ayuda a las organizaciones a adaptarse rápidamente a los cambios inesperados en el mercado. Así, Calidad 4.0 actúa como un catalizador para la toma de decisiones informadas, reduciendo la incertidumbre en las operaciones de la cadena de suministro.

Volatilidad

La volatilidad, que representa el 22,2% de la atención en los estudios, hace referencia a cambios rápidos e impredecibles que afectan a las empresas. Tecnologías como IoT y Big Data ayudan a gestionar esta volatilidad integrando datos en tiempo real. IoT ofrece una visibilidad constante de los procesos, lo que facilita realizar ajustes inmediatos ante cambios en el mercado. Big Data, por su parte, permite un análisis más profundo y la predicción de variaciones, contribuyendo a optimizar operaciones y mitigar impactos negativos. Estas tecnologías mejoran la flexibilidad organizacional al facilitar respuestas rápidas y adaptativas frente a eventos inesperados.

Complejidad

La complejidad, se representa un 11.1% el cual se relaciona con la gran cantidad de variables e interdependencias que existen dentro de la cadena de suministro. Tecnologías como la analítica avanzada, la simulación digital y los gemelos digitales permiten modelar escenarios y comprender mejor estas interrelaciones. Gracias a estas herramientas, las organizaciones logran planificar de manera más eficiente y anticipar consecuencias en sistemas altamente interconectados.

Ambigüedad

La ambigüedad, con un 7,4% de atención en los estudios, es el factor del entorno VUCA que recibe menos análisis. La ambigüedad está relacionada con la falta de claridad en las decisiones empresariales debido a información insuficiente o contradictoria.

Sin embargo, tecnologías como IA y blockchain tienen el potencial de reducir la ambigüedad. IA permite realizar análisis de datos complejos para proporcionar recomendaciones más claras basadas en información sólida y procesada. Blockchain, por su parte, mejora la transparencia en los procesos de la cadena de suministro, proporcionando una fuente confiable de datos, lo que ayuda a reducir la ambigüedad y asegura que las decisiones se basen en información precisa y verificable.

Conclusiones

El análisis exhaustivo de la literatura reciente sobre " Calidad 4.0 en la gestión de la cadena de suministro: nuevas perspectivas y estrategias para la innovación empresarial " ha revelado una transformación paradigmática en la forma en que las organizaciones abordan la calidad y la gestión de sus cadenas de valor. Se ha constatado que la Calidad 4.0, al integrar tecnologías avanzadas con los principios fundamentales de la calidad, emerge como un pilar estratégico indispensable para la innovación y la resiliencia empresarial en el contexto de un entorno Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo (VUCA).

El estudio evidencia que la integración de tecnologías como IoT, Big Data, Machine Learning y Blockchain es esencial para la evolución hacia una gestión de calidad avanzada y eficiente. El IoT facilita la recopilación de datos en tiempo real, permitiendo una supervisión continua y mejora iterativa en la calidad de los productos a lo largo de la cadena de suministro. Big Data y Machine Learning habilitan análisis predictivos avanzados que ayudan a anticipar desviaciones, optimizar la toma de decisiones y convertir grandes volúmenes de datos en inteligencia útil. Blockchain refuerza la trazabilidad y transparencia, elementos fundamentales para garantizar la integridad y seguridad de los productos en un contexto globalizado y complejo.

El impacto de Calidad 4.0 trasciende la mera eficiencia operativa, otorgando a las organizaciones la capacidad de gestionar riesgos de manera proactiva, adaptarse con rapidez a cambios inesperados y optimizar sus procesos. Esta adaptabilidad fortalece la resiliencia organizacional y ayuda a mitigar la incertidumbre característica de los entornos VUCA. Además, la integración de estas tecnologías impulsa la innovación, fomenta una cultura de mejora continua y asegura la competitividad empresarial. Esto se traduce en relaciones optimizadas con proveedores, una logística más eficiente y una respuesta ágil frente a posibles interrupciones en la cadena.

Por último, la revisión de la literatura subraya que la Calidad 4.0 no es simplemente una tendencia tecnológica, sino una estrategia integral que redefine la gestión de la cadena de suministro. Proporciona a las organizaciones las

herramientas necesarias para enfrentar los desafíos de la era digital y del entorno VUCA. A medida que estas tecnologías continúan su evolución, aquellas empresas que adopten y perfeccionen las estrategias de Calidad 4.0 no solo asegurarán la excelencia en la gestión de la calidad de sus operaciones, sino que también consolidarán una ventaja competitiva sostenible a largo plazo, demostrando una capacidad superior para innovar y mantener la resiliencia ante las dinámicas cambiantes del mercado global.

Recomendaciones

Para lograr una implementación exitosa de Calidad 4.0, es fundamental fomentar una cultura digital en todos los niveles de la organización mediante capacitación continua sobre tecnologías clave como IoT, Big Data, Machine Learning y Blockchain. Este conocimiento permite a los empleados comprender y aplicar efectivamente estas herramientas para mejorar la gestión de calidad y optimizar procesos. Una cultura que valore la digitalización y la mejora continua resulta esencial para mantener la competitividad en un entorno empresarial cada vez más digitalizado.

Se aconseja una implementación gradual, comenzando con proyectos piloto en áreas específicas de la cadena de suministro para evaluar la efectividad de las tecnologías y hacer ajustes necesarios antes de una adopción a gran escala. Esta estrategia ayuda a gestionar riesgos y asegurar que las soluciones se adapten a las necesidades particulares de cada proceso.

La interoperabilidad entre las tecnologías debe ser un objetivo clave. Las organizaciones deben integrar IoT, Big Data, machine learning y AI de manera que funcionen de forma sinérgica. Esta integración garantizará un flujo continuo de información entre los diferentes puntos de la cadena de suministro, lo que permitirá realizar ajustes en tiempo real y tomar decisiones informadas basadas en datos. La creación de sistemas interoperables facilita la optimización de procesos y proporciona un mejor control de la calidad, reduciendo los costos operativos y aumentando la eficiencia general de la cadena de suministro.

La gestión de la trazabilidad y la transparencia debe ser una prioridad, con Blockchain como tecnología central que garantice el acceso seguro y claro a la información por parte de todas las partes involucradas, desde proveedores hasta consumidores. Esto es clave para cumplir con normativas y aumentar la confianza del cliente, asegurando que los productos mantengan la calidad durante todo su ciclo de vida.

Es imprescindible que las organizaciones gestionen los riesgos mediante herramientas predictivas como Big Data y Machine Learning, anticipando problemas y adaptándose rápidamente a los cambios del mercado. Esta

capacidad incrementa la resiliencia y mejora la respuesta ante situaciones inesperadas, lo cual es fundamental en entornos VUCA.

La colaboración estrecha con los proveedores debe ser clave en la adopción de Calidad 4.0 a lo largo de toda la cadena de suministro. Es recomendable que las empresas trabajen conjuntamente con sus proveedores para implementar tecnologías compartidas como blockchain y cloud computing, lo que mejorará la transparencia y la eficiencia en la gestión de la calidad. La colaboración en tiempo real entre todos los actores de la cadena de suministro garantiza la alineación de los procesos y facilita la optimización y la co-creación de valor.

Finalmente, se recomienda establecer sistemas de monitoreo y evaluación continua que permitan medir el impacto de las tecnologías implementadas en los procesos de producción, gestión de calidad y cadena de suministro. La evaluación periódica facilitará identificar áreas de mejora y asegurar que las tecnologías sigan alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

2 Bibliografía

- Alsadi, J. A.-R. (2024). A systematic literature review with bibliometric analysis of Quality 4.0. *The TQM Journal*, 37(5), , 1754–2731. .
- Antony, J., Sony, M. G., & Gnanaraja, S. (2022). Quality 4.0: Conceptual framework and research agenda. . *TQM Journal*, 34(5), 1055-1070.
- Aslam, H. K.-u. (2020). Achieving supply chain resilience: the role of supply chain ambidexterity and supply chain agility. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(6), 1185–1204.
- Basana, R. D. (2025). Blockchain for supply chain quality management: A systematic literature review and future research agenda. . *Computers & Industrial Engineering*, 190, 109968.
- Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014). What VUCA Really Means for You. *Harvard Business Review*. , <https://hbr.org/2014/01/what-vuca-really-means-for-you>.
- Bui, L. T. (2022). Supply chain quality management 4.0: conceptual and maturity frameworks. . *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(2), 474–487.
- Corte, E. e. (2021). Digitalization in Quality Management: Challenges and Opportunities. . *In Journal of Business Research*, 79, 25-35., <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.020>.
- Deng, Y. e. (2025). Leadership in Quality 4.0: Transforming Supply Chain Management. *In Journal of Manufacturing Processes*, 59, 198-209.
- Deng, Y. Z. (2025). How leadership for Quality 4.0 affects thriving at work: a multilevel study from the identification perspective. . *International Journal of Operations & Production Management*, 45(8), 1578-1601.
- Di Stefano, A. (2023). Calidad 4.0: la vigencia del Kaizen en el contexto de la. *Buenos Aires, Argentina*.

- Dias, A. C. (2022). Quality 4.0: Literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1312–1335.
- El Manzani, Y. B. (2025). A textometric analysis of Quality 4.0 research. *The TQM Journal*. , Advance online publication.
- Gao, Y., Feng, Z., & Zhang, S. (2021). Managing supply chain resilience in the era of VUCA. . *Frontiers of Engineering Management*, 8, 465–470.
- Guallazaca, J., & Hernández, M. (2020). Agricultural Product Classifier for Quality. *Riobamba, Ecuador*.
- Ivanov, D. D. (2021). Digital supply chain model in Industry 4.0: An advanced systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1866–1890.
- Jacob, D. (2017). What is Quality 4.0? . *LNS Research*., <https://blog.lnsresearch.com/quality40>.
- Kannan, G., & Garad, A. (2020). Industry 4.0 and supply chain management: A literature review and future research directions. . *In International Journal of Productivity and Performance Management* , (Vol. 69, No. 8, pp. 1599-1618).
- Kushwaha, D., & Talib, F. (2025). A bibliometric analysis of Quality 4.0: current status, trends and future research directions. . *International Journal of Quality & Reliability Management*, 42(2), 474-503.
- Oliveira, A. D. (2024). Oliveira, A. D., de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., & Godinho Filho, M. . *International Journal of Production Economics*, 269, 108256.
- Radziwill, N. (2018). Quality 4.0: Let's get digital – The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. . *Quality Progress*, 51(10), 20–25.

- Ranjith, R. e. (2021). The Impact of Emerging Technologies on Supply Chain Quality: A Global Perspective. *In International Journal of Operations & Production Management*, 41(10), 1578-1595.
- Ruiz, J. A. (2020). Liderazgo VUCA. . *Claves para liderar en entornos inciertos.* , Pirámide.
- Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2021). A review of Quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence.*, <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>.
- Salimbeni, S. R. (2023). Quality 4.0: technologies and readiness factors in the entire value flow life cycle. *Production & Manufacturing Research*, 11(1), 2238797.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. .
- Sony, M. N. (2020). Challenges to implementing Industry 4.0 in supply chain management. *In International Journal of Productivity and Performance Management*, (Vol. 69, No. 7, pp. 1475-1492).
- Tellez, J. A., Castañeda, J. F., & Cortes, A. F. (2022). Factores críticos del entorno externo para las organizaciones: una mirada frente al mundo VUCA. *Semillas del Saber*, 157-166.
- Terlato, A. (2019). Estrategia y decisiones en ambientes VICA: Implicancias de este entorno para las empresas, Serie Documentos de Trabajo. *Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA), Buenos Aires.*, No. 699.
- Tewary, S., & Jadon, S. (2023). raining and Workforce Development for Quality 4.0 Adoption in India. . *In International Journal of Advanced Manufacturing Technology.*, 119(3), 1267-1280.
- Wamba, S. Q. (2020). Blockchain technology adoption for managing risks in operations and supply chain management: Evidence from the UK. .

Operations and Supply Chain Management: An International Journal, 13(3), 372–384.

Zahid, A. L.-A. (2025). Exploring the potential of industry 4.0 in manufacturing and supply chain systems: Insights and emerging trends from bibliometric analysis. . *Supply Chain Analytics*, 10, 100108. .

Zekhnini, K. C.-R. (2021). Supply chain management 4.0: A literature review and research framework. *Benchmarking: An International Journal*, 28(2), 465–501.

Zouari, D., R. S., & Viale, L. (2021). Does digitalising the supply chain contribute to its resilience? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(2), 149–180.