

La gestión de la calidad en la industria 4.0: un nuevo enfoque tecnológico y de eficiencia en la era digital

 José Morelos Gómez*

 Kevin David Hernández Padilla**

 Antonio José Pérez Romero***

Fecha de recepción: 22 de junio de 2024

Fecha de aceptación: 29 de julio de 2025

Para citar este artículo: Morelos Gómez, J., Hernández Padilla, K. D., & Pérez Romero, A. J. (2026). La gestión de la calidad en la industria 4.0: un nuevo enfoque tecnológico y de eficiencia en la era digital. *Universidad y Empresa*, 28(50), 1-30. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.14636>

Resumen

Objetivo: analizar la contribución de la industria 4.0 en la gestión de la calidad de las organizaciones.

Metodología: se desarrolló una revisión sistemática para identificar la literatura sobre gestión de la calidad en la industria 4.0, mediante la búsqueda en las bases de datos ScienceDirect y Scopus, para el periodo 2011-2023, en la cual se seleccionaron 52 artículos finales de calidad, considerando criterios de inclusión y exclusión. **Resultados principales:** se identificó que los mayores aportes se lograron en los propósitos de aplicación de herramientas tecnológicas digitales para la innovación de procesos (12%), el diseño de bienes y servicios (10%) y la integración de proveedores y clientes. **Conclusiones:** se halló que, en el contexto del paradigma de la industria 4.0, la adopción estratégica de tecnologías digitales para optimizar los sistemas de gestión de la calidad emerge como un imperativo organizacional. Esta convergencia tecnológica no solo genera ventajas competitivas, sino que también actúa como un catalizador para la productividad y competitividad en el dinámico escenario digital actual.

Palabras clave: herramientas tecnológicas; industria 4.0; gestión de la calidad; sistemas informáticos.

* Universidad de Cartagena (Colombia). Correo electrónico: jmorelosg@unicartagena.edu.co

** Universidad de Cartagena (Colombia). Correo electrónico: khernandezp@unicartagena.edu.co

*** Universidad de Cartagena (Colombia). Correo electrónico: aperezr@unicartagena.edu.co

Quality Management in Industry 4.0: A New Technological and Efficiency Approach in the Digital Age

Abstract

Objective: This study seeks to analyze the contribution of industry 4.0 in the quality management of organizations. **Methodology:** A systematic review was developed to identify the literature on quality management in Industry 4.0 through the search in the Science Direct and Scopus databases, for the period 2011-2023, in which 52 final quality articles were selected considering inclusion and exclusion criteria. **Key findings:** it was identified that the greatest contributions were achieved in the purposes of applying digital technological tools for process innovation (12%), the design of goods and services (10%) and integration of suppliers and customers. **Conclusions:** Among the findings, it was identified that, in the context of the Industry 4.0 paradigm, the strategic adoption of digital technologies to optimize quality management systems emerges as an organizational imperative. This technological convergence not only generates competitive advantages, but also acts as a catalyst for productivity and competitiveness in the current dynamic digital scenario.

Keywords: technological tools; industry 4.0; quality management; computer systems.

Gestão da qualidade na Indústria 4.0: uma nova abordagem à tecnologia e à eficiência na era digital

Resumo

Objetivo: este estudo busca analisar a contribuição da Indústria 4.0 para a gestão da qualidade das organizações. **Metodologia:** foi realizada uma revisão sistemática para identificar a literatura sobre gestão da qualidade na Indústria 4.0, por meio de buscas nas bases de dados ScienceDirect e Scopus, de 2011 a 2023, na qual foram selecionados 52 artigos finais, considerando critérios de inclusão e exclusão. **Resultados principais:** identificou-se que as maiores contribuições ocorreram na aplicação de ferramentas tecnológicas digitais para a inovação de processos (12%), no design de bens e serviços (10%) e na integração de fornecedores e clientes. **Conclusões:** os achados indicam que, no contexto do paradigma da Indústria 4.0, a adoção estratégica de tecnologias digitais para otimizar os sistemas de gestão da qualidade emerge como um imperativo organizacional. Essa convergência tecnológica não apenas gera vantagens competitivas, mas também atua como catalisadora da produtividade e da competitividade no dinâmico cenário digital contemporâneo.

Palavras-chave: ferramentas tecnológicas; indústria 4.0; gestão da qualidade; sistemas informáticos.

Introducción

La integración de herramientas tecnológicas digitales en los procesos productivos —que abarcan las tecnologías de la información y comunicación, el internet de las cosas, la inteligencia artificial, el *big data*, los sistemas ciberfísicos, la robótica, entre otras— ha emergido como un instrumento estratégico para la optimización operativa (Zheng et al., 2023). La eficacia de estas tecnologías se materializa cuando su gestión se fundamenta en la planificación

rigurosa, la estandarización de procesos y la retroalimentación continua de las actividades operacionales (Sahoo & Yadav, 2018). En este sentido, los esfuerzos para potenciar el desempeño productivo en fábricas inteligentes deben centrarse en la investigación sistemática, el análisis de datos y la innovación. Esto permite capitalizar en tiempo real la información derivada de los procesos internos, lo que se traduce en una toma de decisiones más ágil y precisa (Sader et al., 2019).

Por lo anterior, a las empresas les es fundamental definir estrategias robustas para asegurar una combinación armónica entre los factores esenciales que componen el sistema productivo: la estructura organizacional, los clientes externos (demandantes de bienes y servicios) y los clientes internos (colaboradores). Tales estrategias son indispensable para perfeccionar el sistema global (Kurt, 2019). En este contexto, la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, particularmente en el análisis de datos y la gestión de redes, está configurando el paradigma de la fabricación inteligente de productos e impulsando una actualización constante y dinámica de los sistemas. La industria 4.0 está encapsulada en este cambio paradigmático, pues se refiere a un concepto de fábricas inteligentes donde la maquinaria se ve potenciada por sensores y conectividad inalámbrica. Este entorno permite que el sistema tome decisiones autónomas basadas en la visualización y el análisis integral de la línea de producción (Gaur & Ramakrishnan, 2019).

Las organizaciones y la competencia presentan problemas o limitaciones para abordar de la mejor manera las complejidades de los procesos de gestión de la calidad (Serrano et al., 2021). Esta nueva coyuntura exige que el sector empresarial adopte herramientas y tecnologías avanzadas que respondan a las nuevas configuraciones competitivas del panorama productivo. En este sentido, la industria 4.0 facilita la reconfiguración inteligente de sistemas de producción autónomos y adaptables, mediante la incorporación de tecnologías digitales avanzadas (Dornelles et al., 2022). Este marco resulta fundamental para que las empresas mantengan su competitividad, en particular a través de la optimización de los procesos y la gestión eficiente de la calidad (Giada & Gosling, 2021). La presión competitiva, la rápida evolución tecnológica impulsada por la globalización y la necesidad de adaptarse continuamente a las demandas de productos y servicios son factores cruciales. La integración de estos cambios en las herramientas de automatización y optimización no solo es esencial para cumplir con los objetivos organizacionales, sino también para evitar repercusiones negativas. La incapacidad de adoptar nuevas tecnologías, la falta de

innovación y el deterioro de la calidad pueden conducir a una disminución sostenida de la rentabilidad (Díaz Martínez et al., 2020).

La reestructuración de los procesos organizacionales se ve forzada por la implementación de las herramientas tecnológicas digitales en la industria 4.0, lo que obliga a las empresas a buscar desarrollo innovador y tecnológico que les permita optimizar sus diversas operaciones (Gunasekaran et al., 2019). Esto se traduce en la consecución de una mayor propuesta de valor para los clientes, manteniendo la eficiencia y la flexibilidad operativa. Parte de la eficiencia en los procesos se debe a la creatividad que tienen las organizaciones para crear innovaciones que mantengan su competitividad en el mercado. La integración de redes de sensores inteligentes, la computación en la nube, el *big data*, así como la aplicación de la realidad virtual y la realidad aumentada, representan nuevas modalidades de colaboración dentro de la industria 4.0 (Javaid et al., 2021a). Además, las tecnologías inteligentes y los dispositivos portátiles pueden ayudar a evaluar a los empleados en el desarrollo de nuevas habilidades en los colaboradores. La acelerada evolución tecnológica inherente a la globalización y la necesidad de adaptarse son factores relevantes para impulsar la transformación tecnológica digital.

En este contexto, las fábricas inteligentes del futuro se fundamentarán en modelos informáticos modernos (Ngu et al., 2020), como sistemas móviles e interactivos modernos interconectados que converjan para potenciar la productividad. La incorporación de estos avances en las herramientas de automatización y optimización de procesos es crucial para comprender el impacto integral del negocio y la importancia del rendimiento, seguridad y calidad del producto (Javaid et al., 2021b). La incapacidad de adaptarse a las nuevas tecnologías, la falta de innovación y la pérdida de calidad en los procesos pueden derivar en una disminución de la lealtad de los clientes y la reducción de la fiabilidad y el rendimiento, y, por ende, en una menor participación en el mercado (Alcácer & Cruz-Machado et al., 2019).

El objetivo de este artículo es analizar la aportación de las herramientas tecnológicas digitales al mejoramiento de la gestión de la calidad de las organizaciones en el marco de la industria 4.0, es decir, cómo estos resultados impulsan la competitividad y rendimiento de las empresas. A partir de este objetivo, se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

- Q1. ¿Cuál es la contribución de la aplicación de las herramientas tecnológicas digitales de la industria 4.0 en la gestión de la calidad?
- Q2. ¿Cómo se identifican los sectores económicos y regiones geográficas con mejor desempeño en la gestión de la calidad en el contexto de la industria 4.0?

En este artículo se presenta una metodología de revisión sistemática de la literatura sobre la gestión de la calidad en el escenario de la industria 4.0. Se buscó en las bases de datos ScienceDirect y Scopus (2011-2023) y se identificaron 52 artículos de calidad. La selección inicial para la inclusión se basó en las palabras clave que definen el título del estudio. Para la selección final, se examinaron los textos completos del estudio; luego se determinó el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la tabla 1. Con ello, se lograron reducir a 52 el número total de documentos para la revisión final.

Este artículo se ha estructurado de la siguiente manera: en el apartado introductorio se sintetizó la literatura que da lugar a las hipótesis de trabajo, las cuales se buscan responder a lo largo del estudio. Posteriormente, el marco teórico aborda la literatura relevante sobre la gestión de la calidad en el contexto de la industria 4.0. Seguidamente, se detalla la metodología utilizada para la filtración y extracción de datos. Finalmente, se exponen los resultados del estudio y se esbozan las conclusiones.

Marco teórico

La industria 4.0

La industria 4.0 no puede dissociarse de un enfoque intrínseco de la sostenibilidad. Esta integración es fundamental, dado que promueve una reducción significativa en el consumo de recursos (materiales y humanos) y facilita el desarrollo de procesos ágiles y dinámicos (Firmino et al., 2020). El esfuerzo por hacer parte de esta corriente integrante de las herramientas tecnológicas digitales, sin duda, brinda innumerables ventajas, entre las que se encuentran: ahorro de recursos, reducción de desperdicio y eliminación de actividades manuales sin valor (Beltrami et al., 2021).

Esta industria 4.0 permite la gestión de calidad del producto a lo largo de la cadena de suministro, mediante el seguimiento de los requisitos de las partes interesadas y de la calidad esperada. Lo anterior se logra con el control riguroso de los requisitos del sistema de gestión, el monitoreo y la retroalimentación de la calidad en cada etapa del proceso. Además, gracias a la vasta cantidad de datos generados, hay una intervención proactiva que facilita la elección de las estrategias más idóneas y la anticipación de desviaciones que pudieran comprometer los objetivos de liderazgo competitivo establecidos (Khan et al., 2021).

Asimismo, en su definición, la industria 4.0 representa una reingeniería en los métodos de trabajo, organizaciones y sistemas productivos, en la cual integra tecnologías digitales avanzadas, sistemas de información y comunicación, inteligencia artificial y procesos de automatización en las cadenas de suministros y los procesos productivos, desde la fase de diseño hasta la entrega del producto final al cliente (Alpala et al., 2018; Kaswan et al., 2024). Surgida en 2011, como parte de la tecnología del Gobierno de Alemania y consolidada como fenómeno global (Sabale et al., 2024), esta revolución tecnológica ha reconfigurado los sistemas producción, manteniendo como pilares fundamentales la productividad y la eficiencia, al igual que considerando el equilibrio entre la satisfacción de las necesidades de recursos y la minimización del impacto ambiental (Stock et al., 2018). En consecuencia, los diseños de planta deben adaptarse a esta nueva dinámica que responda a la demanda de los clientes y la optimización del ciclo de producción, con la maximización de salidas y uso eficiente de los recursos (Nedelko, 2021). Este avance tecnológico ha dado paso a la economía colaborativa y la fabricación personalizada, como resultado de la participación del consumidor final en el ciclo productivo, jalonado por sus requerimientos y adaptación a los modelos de producción y necesidades del mercado, lo que permite una mayor eficiencia organizacional y mejor desempeño en los procesos internos (Corzo & Álvarez-Aros et al., 2021).

En este sentido, el avance tecnológico digital —conceptualizado en tecnologías de información y comunicación, internet de las cosas, inteligencia artificial, *big data*, sistemas ciberfísicos, robótica, entre otros— ha favorecido la implementación de métodos, técnicas y elementos, como información de procesos en tiempo real, sensores de movimiento, cintas transportadoras, acceso a información actualizada a la mano que facilita la ejecución de actividades y mejora de la planificación de la producción (Cui et al., 2020; Santos et al., 2021). Así es como la industria 4.0 permite a cada persona involucrada en los procesos recopilar datos con los cuales inferir su desempeño y tomar decisiones sólidas y acertadas

en beneficio de la maximización de los resultados organizacionales (Martínez-Caballero et al., 2020). En este sentido, la capacitación es fundamental, puesto que se requiere de parte de los colaboradores un enfoque analítico y crítico, orientado a la mejora continua, capaz de transformar los datos obtenidos en información relevante con agregación de valor que introduzca ajustes y estrategias oportunas (Saad & Khamkham, 2018), mayor comunicación con el cliente, oportunidades para el desarrollo de nuevos productos y rápido procesamiento y almacenamiento de la información (Telukdarie et al., 2018). La incorporación de este nuevo paradigma ofrece nuevas alternativas y significa la redefinición de procesos y tareas basadas en la tecnología, donde el cliente y demás partes interesadas cumplen un rol activo, gracias al efectivo procesamiento de la información y diseño de los bienes y servicios, obteniendo de esta forma reducciones de desperdicio y mejoras en la calidad de las operaciones (Páez-Gabriunas et al., 2022).

La aplicación de herramientas tecnológicas en el paradigma de la industria 4.0 para la detección de fallas y el fortalecimiento de la confiabilidad de los equipos resulta una acertada estrategia cuando se totalizan los costos asociados con el mantenimiento de maquinaria en un periodo (Beaumont et al., 2022). Aquí, el diagnóstico remoto adquiere relevancia y constituye una señal de alerta al identificar una posible falla (Salvadorinho & Teixeira, 2021). La instalación de sensores de actividad o el empleo de información histórica que prediga el desempeño de un equipo corresponde a uno de los mecanismos utilizados (Ali et al., 2020). Se requiere entonces un metamodelo de plataforma que integre la comunicación (datos, recursos, cargas de trabajo y métricas), en todos los niveles de la cadena de suministro de todas las partes interesadas, unificando la información y proporcionando una base robusta confiable para la toma de decisiones (Dintén et al., 2021).

Algunos ejemplos de implementación de herramientas tecnológicas digitales en el marco de la industria 4.0 se dan en los siguientes escenarios: en la utilización de conocimiento de la maquinaria y la revisión del desempeño en el tiempo, en la reducción de costos en la cadena de suministro, en el diseño de nuevos bienes y servicios o en la integración de los sistemas de información y computación con los procesos físicos (Villa & Taurino, 2019; Bharadiya, 2023). Lo anterior crea un sistema experto para el análisis y diagnóstico de fallas, entre las cuales se definen mecanismos de fallas y las pruebas recomendadas para confirmar el diagnóstico (Buccieri et al., 2020). Entre las ventajas se encuentra el conocimiento por medio del cual se diagnostican fallas, que no se concentra en un grupo de expertos, sino

que está disponible para toda la organización durante un tiempo indeterminado. Así, se reduce el costo de mantenimiento, hay mayor precisión y confiabilidad en el diagnóstico y disminuye el tiempo en la revisión de equipos (Yahya et al., 2021).

Gestión de la calidad

La gestión de la calidad aporta múltiples ventajas a la organización mediante la aplicación de los tres procesos definidos por Joseph Juran: planear, controlar y mejorar (citado en Leng et al., 2020a). Entre los beneficios inherentes a estas funciones se encuentran la estandarización de procesos, la disponibilidad y la organización de información documentada, definidos en objetivos estratégicos, establecimiento de indicadores, contemplación de riesgos, compromiso de las personas, entre otros (Mittal et al., 2018). No obstante, la implementación y certificación de la gestión de la calidad no constituye un proceso terminado, es decir, el sistema requiere una verificación constante del cumplimiento de los requisitos y seguimiento documentado con las correspondientes acciones de mejoras a las que haya lugar (Elghaish et al., 2021).

En este sentido, la meta de la implementación de sistemas de gestión de la calidad (sgc) es optimizar procesos bajo la reducción de desperdicios sin perder de vista el enfoque al cliente, con una participación activa de los trabajadores en la introducción e implementación de mejoras (Ammar et al., 2021). Este enfoque busca, en la dinámica de transformación, dar respuesta natural al concepto de la mejora continua inherente al ser humano (Asif, 2020). En el ámbito empresarial, procurar la satisfacción del cliente a través de la provisión de bienes y servicios se erige como un aspecto clave en el logro de una ventaja competitiva sostenible (Ribeiro et al., 2021). Sin embargo, lo anterior se traduce en un desafío para las organizaciones que, con la liberalización del mercado y los avances tecnológicos, se enfrentan a un cliente con mayor exigencia que cuenta con toda la información disponible para negociar y tomar la mejor decisión (Kumar et al., 2021).

Ante este nuevo panorama competitivo, las empresas se han visto en la necesidad de equiparse con nuevas tecnologías digitales para mejorar sus procesos operacionales internos, ventajas competitivas y sostenibilidad en el mercado (Wang et al., 2020), armonizando esfuerzos en aras de lograr la calificación y certificación de procesos bajo estándares internacionales, como la norma la ISO 9001. Esta norma, como estándar certificable,

proporciona un marco estructurado esencial para la implementación de un sgc, el cual centra su filosofía en la satisfacción del cliente (Nazarenko et al., 2021). Si bien no es obligatorio contar con un sgc, representa una decisión estratégica por parte de la alta gerencia, dado que genera un cambio en la genética de la organización e involucra a cada uno de los colaboradores en la contribución de los objetivos organizacionales (Peralta & Soltero, 2020).

Relación de la gestión de la calidad con la industria 4.0

Las nuevas herramientas tecnológicas digitales han mejorado de modo integral los procedimientos que conforman una organización, la han hecho más eficiente y han agregado valor a los procesos operacionales y la cadena de trabajo (Müller, 2019). Algunas herramientas tecnológicas, como el *big data*, el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la automatización, la robótica, etc., han hecho que los procesos productivos tiendan a ser optimizados a través de incorporación de innovaciones tecnológicas integradas a los sgc. Con ello se tiene una mayor seguridad, fiabilidad y confianza de los procesos productivos que apoyan los objetivos estratégicos corporativos (Anttila & Jussila, 2018); sin embargo, ciertos autores afirman que no hay suficiente evidencia bibliográfica que aborde de manera conjunta la intersección entre la gestión de la calidad y la industria 4.0. Ambos paradigmas dirigen sus esfuerzos hacia la mejora de procesos desde diferentes enfoques: la gestión de calidad, mediante la estandarización, y la industria 4.0, a través de la tecnología. No obstante, se obtendrían mayores resultados si se emplean de forma integrada (Calış et al., 2021).

Por ejemplo, en un análisis de evidencia empírica de aportación de la industria 4.0 se comparó un proceso de producción tradicional con uno tecnológicamente avanzado en una empresa metalmecánica (Fonseca et al., 2021). El estudio buscó ofrecer una aproximación integrada de dichos conceptos en beneficio tanto de la empresa como de los clientes (Ngoc Thach et al., 2021). Los resultados obtenidos arrojaron un incremento significativo en la producción en el mismo intervalo de tiempo y uso de equipos, lo que estrechamente se relaciona con la eficiencia operacional. Asimismo, el monitoreo constante de actividades contribuyó al aprendizaje automático, prediciendo los mantenimientos preventivos (Durana et al., 2019). Tales actividades se llevaron a cabo mediante auditorías periódicas que permitían comprobar la adherencia de los procesos a los requisitos establecidos, la medición de indicadores y el seguimiento a los procesos, tarea que es facilitada por el procesamiento de datos y los avances tecnológicos de la industria 4.0 (Chiarello et al., 2021).

Metodología

La investigación se fundamentó en una revisión sistemática de la literatura de tipo cualitativo y descriptivo, donde se buscaron artículos completos de acceso abierto en inglés, publicados en el rango 2011-2023, en las bases de datos indexadas científicas: ScienceDirect y Scopus. Se aplicó la siguiente ecuación de búsqueda con las palabras clave relacionadas a continuación: (“Quality management”) and (“Industry 4.0”) and (Limit - To(OA, “all”)). La utilización del conector *and* detalla que en el proceso de selección se consideraron solo los artículos que se relacionaran con las dos palabras clave en el título o en el resumen. La figura 1 muestra el mapa de concurrencia de las palabras clave utilizadas en la ecuación de búsqueda con estudios similares que se asocian con la gestión de la calidad y la industria 4.0.

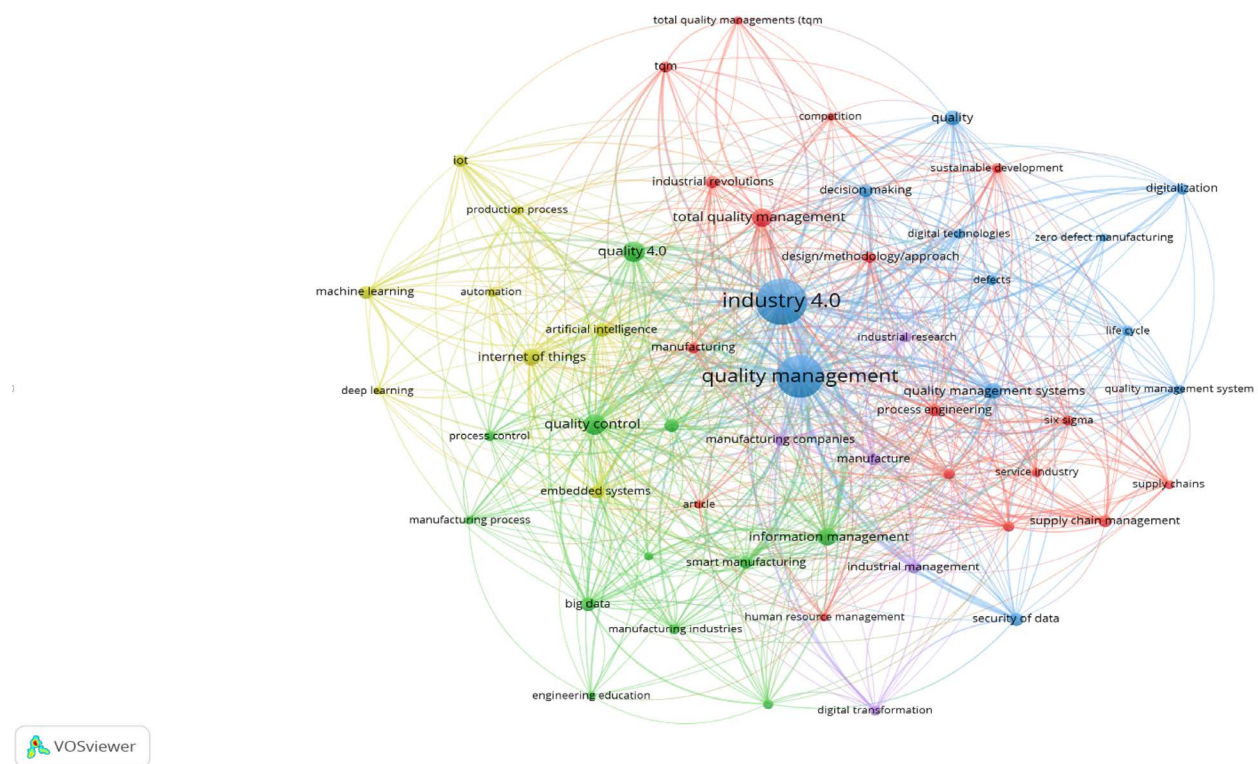


Figura 1. Concurrencia de las palabras clave utilizadas con estudios similares que se relacionan con la gestión de la calidad y la industria 4.0

Fuente: base de datos Scopus.

La búsqueda inicial en las bases de datos seleccionadas arrojó un total de 817 artículos, de los cuales se excluyó la literatura gris en un primer proceso de filtración (ponencias de congresos, artículos relacionados con revistas, talleres, libros, editoriales, prefacios, sesiones de carteles, paneles de discusión y comentarios). Se retuvo el texto completo si los resúmenes indicaban que el estudio estaba relacionado con la aplicación de la gestión de la calidad en la industria 4.0. Esta primera revisión y tamizaje facilitaron la reducción de los artículos a un número menor de 335 artículos. Seguidamente, se consideró un segundo proceso de filtración, a fin de examinar los textos completos del estudio y determinar si estos cumplían con los criterios de inclusión (tabla 1), con lo que se filtraron finalmente 52 artículos escogidos para la realización del estudio (figura 2).

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos de revistas académicas revisadas por pares	Literatura gris (actas de congresos, disertaciones, libros de texto, artículos relacionados con revistas, etc.)
Artículos publicados en revistas de alta calidad y artículos de revistas especializadas en Industria	Artículos publicados en idiomas distintos a inglés y español
Artículos que analizan únicamente la implementación de a industria 4.0 y sistemas de gestión de calidad	Artículos publicados antes de 2011
Artículos publicados en inglés y español	
Artículos publicados entre 2011 y 2013	
Artículos de libre acceso	

Fuente: elaboración propia.

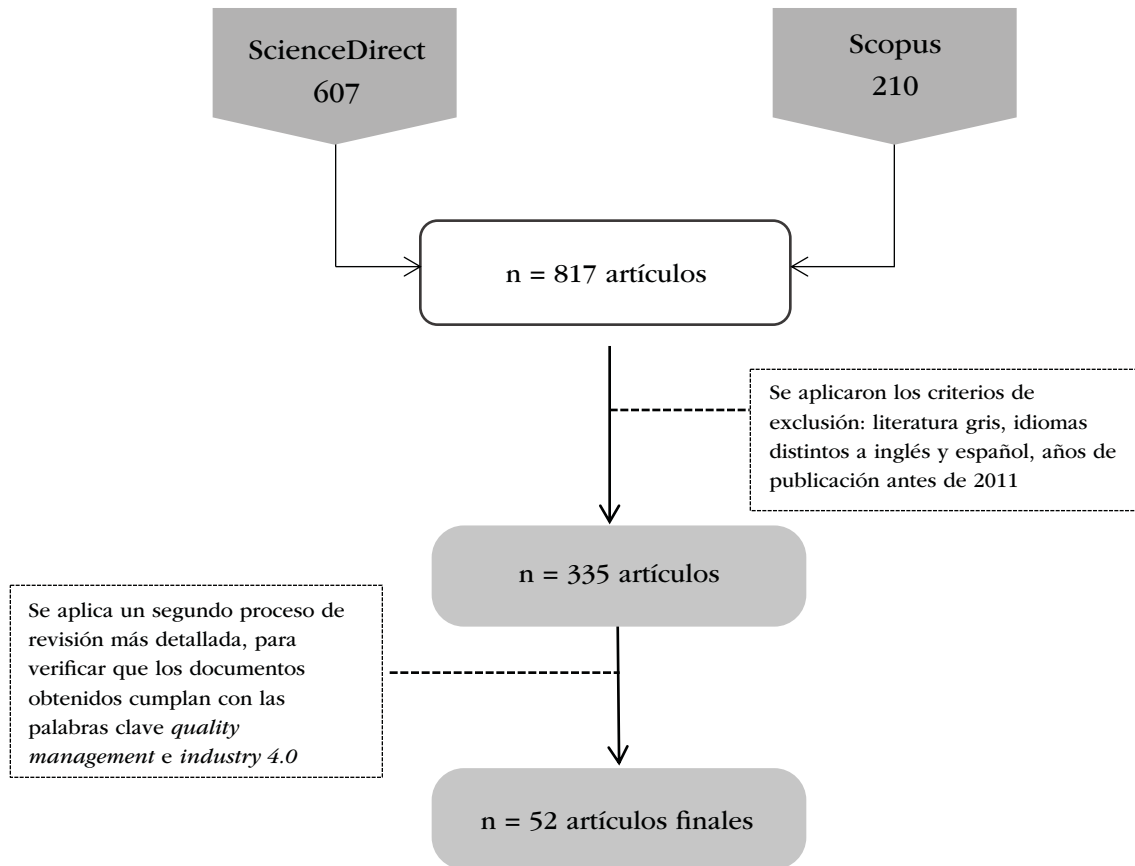


Figura 2. Selección de artículos en bases de datos ScienceDirect y Scopus

Fuente: elaboración propia.

La extracción y la síntesis de los datos se realizaron con un método de síntesis de marco teórico, que proporciona un modo para probar, reforzar y construir sobre un modelo publicado existente, concebido para una población potencialmente diferente pero relevante. Los datos fueron administrados por las bases de datos ScienceDirect y Scopus, para registrar con precisión la información relacionada con los datos y los autores revisaron de forma independiente cada artículo. Una vez extraídos y registrados los datos, se completó la codificación para minimizar la discrepancia.

Resultados

Análisis descriptivo de los hallazgos

Como resultado del proceso de selección, filtración y análisis de los artículos con mayor pertinencia, y siguiendo los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la metodología, se presenta la tabla 2. Esta, junto con el análisis descriptivo y sus derivaciones, responde directamente a las preguntas de investigación planteadas. De lo anterior, y dando repuesta a la primera pregunta problema, la tabla 2 registra la relación entre el autor, la contribución y el año de aplicación del estudio, lo cual detalla claramente el aporte al tema objeto de investigación.

Tabla 2. Autores, contribuciones y año de publicación

Autor(es)	Contribución a la gestión de la calidad	Año
Alcácer y Cruz-Machado	Descripción de las tecnologías y sistemas habilitadores en el entorno de fabricación	2019
Ali et al.	Diseño de nuevas estrategias de <i>marketing</i> y nivel de madurez en el mercado digital	2020
Alpala et al.	Análisis, evaluaciones e ingeniería de los procesos existentes en las empresas manufactureras	2018
Ammar et al.	Utilización de tecnologías avanzadas para mejorar la calidad de sus materiales	2021
Anttila y Jussila	El liderazgo también contribuye a la creación de un entorno empresarial propicio en general	2018
Asif et al.	Gestión de la calidad deben prestar especial atención al valor compartido de creación	2020
Beltrami et al.	Tecnologías individuales con prácticas y desempeño de sostenibilidad	2021
Páez-Gabriunas et al.	La productividad y la innovación se pueden enfrentar con mayor probabilidad de éxito a la competencia	2022
Buccieri et al.	Aplicación de un sistema como herramienta para apoyar gestión del conocimiento	2020
Calış Duman y Akdemir	Mejoras significativas en el rendimiento de empresas que utilizan tecnología 4.0	2021
Chiarello et al.	Necesidad de capturar información integral sobre tecnologías emergentes para las tareas realizadas	2021
Condé et al.	Revisión bibliográfica acerca la importancia y aplicaciones de la nueva etapa de desarrollo de la calidad 4.0	2022
Corzo y Álvarez-Aros	Gestión tecnológica en los países en desarrollo está dominada por el conocimiento	2021

Continúa

Autor(es)	Contribución a la gestión de la calidad	Año
Cui et al.	Objetos y actividades desde el diseño de productos hasta fin de vida útil del producto	2020
Díaz Martínez et al.	Diseño de un procedimiento para integrar la gestión por procesos con el diseño arquitectónico	2020
Dintén et al.	Aplicación de tiempo real que analiza y procesa datos sobre polución	2021
Durana et al.	La calidad como una ventaja estratégica, involucrando a los empleados	2019
Elghaish et al.	Aplicaciones en seguridad, visibilidad, rastreo-capacidad y recopilación	2021
Ezahra et al.	Prácticas ecológicas y lean como solución para lograr un mejor desempeño ambiental	2021
Firmino et al.	Proporcionar capacitación a los gerentes necesarios hacia la industria 4.0	2020
Fonseca et al.	Marco estratégico integrado para calidad, excelencia y sostenibilidad, dentro de un paradigma de industria 4.0	2021
Gaur y Ramakrishnan	Los sistemas de fabricación han sido diseñados únicamente con el objetivo de aumentar la producción	2019
Giada y Gosling	Necesidad de alinear los mercados, la producción, la ingeniería y los procesos	2021
Gunasekaran et al.	Comprender la calidad de integración dentro de la empresa, proveedores y clientes	2019
Javaid et al.	Se puede utilizar para permitir una toma de decisiones más racional	2021a
Javaid et al.	Interconexión del sistema de calidad con la industria para asegurar la calidad de la tecnología	2021b
Khan et al.	Elaboración de informes de sostenibilidad sobre iniciativas globales	2021
Kumar et al.	Las nuevas tecnologías de la industria 4.0 permiten mayor control de la variabilidad en la producción	2021
Kurt et al.	Las tecnologías se entrelazan e interactúan en los campos físico, digital y biológico	2019
Leng et al.	Arquitecturas potenciadas por <i>blockchain</i> y habilitación claves técnicas	2020
Leng et al.	El rediseño correspondiente o decisiones de ajuste para identificar ineficiencias y errores en los procesos operacionales	2021
Li et al.	Análisis de toma de decisiones basado en tecnología industrial impulsada por <i>big data</i>	2021
Martínez-Caballero et al.	Innovación y adopción de nuevos procesos digitales	2020
Mittal et al.	Desarrollo de un modelo de madurez para pymes	2018
Müller et al.	Orientar a la producción y mejora de la eficiencia en aplicaciones de industria 4.0	2019
Nazarenko et al.	Minimizar el costo de producción, hacerlo más sostenible reduciendo el número de fallas	2021
Nedelko et al.	Experiencia laboral es necesaria en el uso de herramientas de gestión	2021
Ngoc Thach et al.	Innovación en tecnología digital como Fintech y la nube	2021
Ngu et al.	Aplicar el proceso de renovación para mejorar la flexibilidad	2020
Peralta y Soltero	Aplicabilidad de la teoría fractal al desarrollo de sistemas de fabricación para la industria 4.0	2020
Ribeiro et al.	La industria 5.0 propone utilizar una fuerza de trabajo de máquinas y personas de manera eficiente	2021

Continúa

Autor(es)	Contribución a la gestión de la calidad	Año
Saad y Khamkham	Capacidad de impulsar competitividad y capacidad de implantación en la práctica	2018
Sader et al.	Utilizar métodos cuantitativos para evaluar el impacto real de la utilización de la industria 4.0	2019
Sahoo y Yadav	Para implementar prácticas de gestión es necesario identificar y comprender los factores que obstaculizan	2018
Salvadorinho y Teixeira	La integración con <i>lean</i> es esencial para una implementación exitosa	2021
Santos et al.	Identificar las habilidades precisas indica cómo puede evolucionar el estándar	2021
Serrano et al.	El desarrollo ofrece un alto potencial en la planificación de la producción y control	2021
Sozinova et al.	Desarrollo de un enfoque científico y práctico de la gestión de la calidad en la industria 4.0 mediante el desplazamiento de los recursos laborales hacia el núcleo de la economía digital	2023
Telukdarie et al.	Iniciativas de optimización y oportunidades contemporáneas	2018
Villa y Taurino	Una nueva intervención implica la inserción de una nueva actividad en la línea de tiempo predefinida	2019
Wang et al.	Tecnologías habilitadoras, incluyendo sensores y señales, extracción y selección	2020
Yahya et al.	La producción de fabricación exige una ontología de dominio	2021

Fuente: bases de datos ScienceDirect y Scopus.

Del total de los 52 artículos seleccionados para este estudio, el mayor aporte en materia de aplicaciones y contribución por los autores a la gestión de la calidad mediadas por la tecnología digital se realizó en 2021, con un total 24 (48%) participaciones, y el más bajo en 2018, con tan solo 6 (12%) aplicaciones tecnológicas digitales, para el mejoramiento de los procesos y la calidad, como se observa en la figura 3.

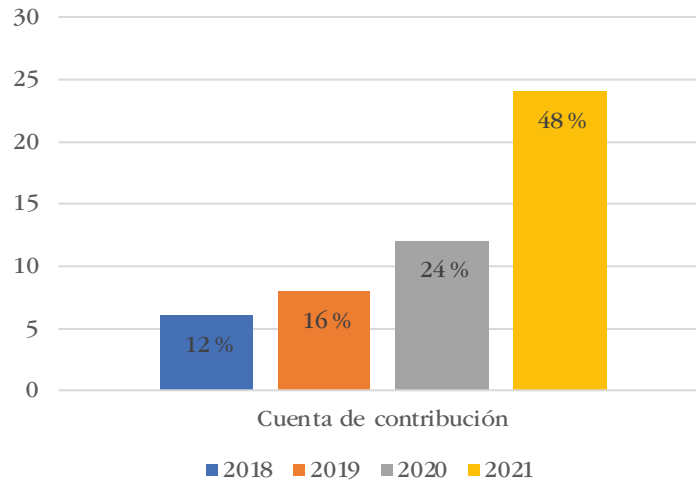


Figura 3. Apropiación de las herramientas tecnológicas digitales en la gestión de la calidad por año

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se destacan las aportaciones de cada uno de los autores más representativos, que coadyuvan en la transformación y desarrollo de los procesos productivos, apoyándose en los sistemas tecnológicos de información digital desde la industria 4.0, a saber: Javaid et al. (2021a). Leng et al. (2021) y Díaz Martínez et al. (2020), con las siguientes contribuciones, respectivamente: interconexión del sistema de calidad con la industria manufacturera para asegurar la calidad de la tecnología, el rediseño correspondiente o decisiones de ajuste con el propósito de identificar ineficiencias y errores en los procesos operacionales, y el diseño de un procedimiento para integrar la gestión por procesos con el diseño arquitectónico. En cuanto al resto de autores identificados en la tabla 2, se describe como dato estadístico que para los años de análisis 2018-2023, solo el 6.3% de estos coadyuvieron al tema de investigación con al menos una aplicación. Con ello se evidencia la agregación de valor de las herramientas tecnológicas digitales en el marco de la industria 4.0, alineado con los propósitos estratégicos en el área de gestión de la calidad.

En relación con la figura 4, se destacan las áreas con mayor desempeño, resultantes de la aplicación de creativas e innovadoras herramientas tecnológicas digitales que apalancan la transformación tecnológica en los procesos y actividades que apoyan la planeación, el diseño y la ejecución de los sistemas operacionales que propenden al mejoramiento de la calidad y la eficiencia en las organizaciones. Las áreas de desempeño identificadas con

mayor participación (89%) se relacionan a continuación: diseño (16%), sistemas de información (13%), sistemas de información (13%), capacitación (12%), innovación (11%), productividad (10%), fabricación (9%), análisis (9%) y logística (9%). Las de menor participación (11%) fueron métodos cuantitativos (6%) y toma de decisiones (5%).

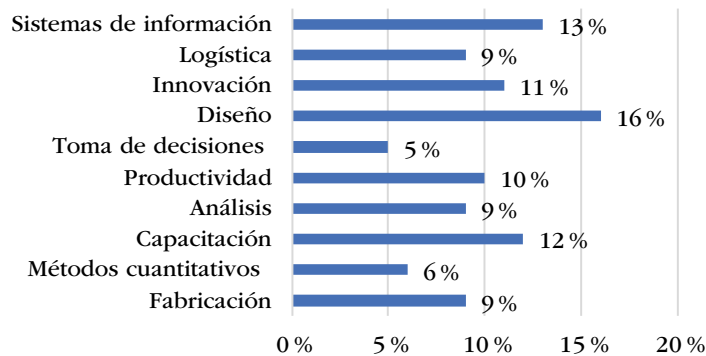


Figura 4. Área de desempeño con mayor aplicación en el sistema productivo

Fuente: elaboración propia.

En relación con las áreas de desempeño con mayor contribución y agregación de valor en los procesos productivos y gestión de la calidad en las organizaciones, se resalta la contribución práctica y científica de los estudios cuyo interés estuvo marcado por los siguientes fundamentos teóricos: marco estratégico integrado para calidad, excelencia y sostenibilidad, dentro de un paradigma 4.0; comprensión de la integración de la calidad alrededor de la empresa, proveedores y cliente; implementación de las prácticas de gestión para identificar y comprender los factores que la obstaculizan, e identificación de las habilidades precisas para coadyuvar en la medición de los indicadores y estándares de calidad.

Para dar repuesta al segundo interrogante, que trata de identificar los sectores económicos y regiones geográficas con mejor desempeño de la industria 4.0 en la gestión de la calidad, se presenta la tabla 3, la cual relaciona el título, país y sector económico.

Tabla 3. Título, país de origen y sector económico

Título	País	Sector económico
Scanning the industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems	Portugal	Manufactura
Cloud computing based unsupervised fault diagnosis system in the context of industry 4.0	Brasil	Tecnología
Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an "industry 4.0"	Colombia	Industrial
Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies	India	Tecnología
Universities and smart cities: the challenges to high quality	España	Tecnología
Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices	Arabia Saudita	Tecnología
Industry 4.0 and sustainability: towards conceptualization and theory	Italia	Tecnología
Expert systems and knowledge management for failure prediction to on-shore pipelines: issue to industry 4.0 implementation	Brasil	Tecnología
A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance	Turquía	Tecnología
Towards ESCO 4.0 - Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach	Italia	Tecnología
Technological competitiveness strategies in mobile connectivity and industry 4.0 communications in Latin America	México	Tecnología
Manufacturing big data ecosystem: a systematic literature review	Australia	Manufactura
Arquitectura de referencia para el diseño y desarrollo de aplicaciones para la industria 4.0	España	Tecnología
Quality culture of manufacturing enterprises: a possible way to adaptation to industry 4.0	Eslovaquia	Manufactura
Automation in construction blockchain and the "internet of things" for the construction industry: research trends and opportunities	Reino Unido	Industrial
An integrated smart, green, resilient, and lean manufacturing framework: A literature review and future research directions	Marruecos	Manufactura
Towards Industry 4.0: a SWOT-based analysis for companies located in the Sorocaba Metropolitan Region (São Paulo State, Brazil)	Brasil	Tecnología
Quality 4.0: The efqm 2020 model and industry 4.0 relationships and implications	Portugal	Industrial
Developing internet of things maturity model (IoT-MM) for manufacturing	India	Manufactura
A decade of engineering-to-order (2010-2020): Progress and emerging themes	Italia	Tecnología
Quality management in the 21st century enterprises: research pathway towards industry 4.0	EE. UU.	Tecnología
Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation	India	Tecnología
Significance of quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector	India	Tecnología
Industry 4.0 and sustainable development: a systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives	Finlandia	Tecnología

Continúa

Título	País	Sector económico
A data driven decision model for assessing the enablers of quality dimensions: context of industry 4.0	EE. UU.	Tecnología
Industry 4.0 in terms of industrial relations and its impacts on labour life	Turquía	Tecnología
Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: a survey	China	Tecnología
Digital twins-based smart manufacturing system design in industry 4.0: a review	China	Tecnología
A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing	China	Industrial
Analysis of competitiveness factors for the sustainable productivity of SMEs in Trujillo (Peru)	Perú	Industrial
Integración de la gestión por procesos y el diseño arquitectónico en organizaciones de servicios públicos	Cuba	Tecnología
Industry 4.0 and digitization towards job satisfaction of organizations in Tampico, Tamaulipas, Mexico	México	Tecnología
A critical review of smart manufacturing & industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)	EE. UU.	Tecnología
Contributions of Industry 4.0 to quality management - A SCOR perspective	Austria	Tecnología
Analysis of relevant standards for industrial systems to support zero defects manufacturing process	Alemania	Manufactura
What drives the usage of management tools supporting industry 4.0 in organizations?	Eslovenia	Tecnología
Technology quality management of the industry 4.0 and cybersecurity risk management on current banking activities in emerging markets - the case in Vietnam	Vietnam	Tecnología
Review on current challenges and future opportunities in Malaysia sustainable manufacturing: remanufacturing industries	Malasia	Industrial
Analysis of fractal manufacturing systems framework towards industry 4.0	España	Tecnología
Project manager competencies in the context of the industry 4.0	Portugal	Tecnología
Development of an integrated quality management conceptual framework for manufacturing organisations	Reino Unido	Manufactura
Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices	Hungría	Industrial
Total quality management in Indian manufacturing SMEs	India	Manufactura
Stories told by publications about the relationship between industry 4.0 and lean: systematic literature review and future research agenda	Portugal	Tecnología
New needed quality management skills for quality managers 4.0	Portugal	Industrial
Smart manufacturing scheduling: a literature review	España	Tecnología
Industry 4.0 implementation for multinationals	China	Tecnología
SME innovation and development in the context of industry 4.0	Italia	Manufactura
Intelligent welding system technologies: state-of-the-art review and perspectives	EE. UU.	Tecnología
Semantic web and knowledge graphs for industry 4.0	Irlanda	Tecnología

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se observa que el sector económico con mayor desempeño en la industria 4.0 para la gestión de la calidad es el tecnológico (66%), el cual triplica a los otros sectores (manufactura, con un 18%, e industrial, con un 16%), que se encuentran acompañándolo en esta comparativa. En la figura 6 se presenta la segmentación por países, con lo cual se afirma que los países con mayor desempeño corresponden a Portugal e India, seguidos de China, Estados Unidos, España e Italia, y, comparativamente, entre los continentes analizados, se observa en la figura 7 que el continente europeo tiene un desempeño del 48%; el americano, un 24%, y el asiático, un 24%.

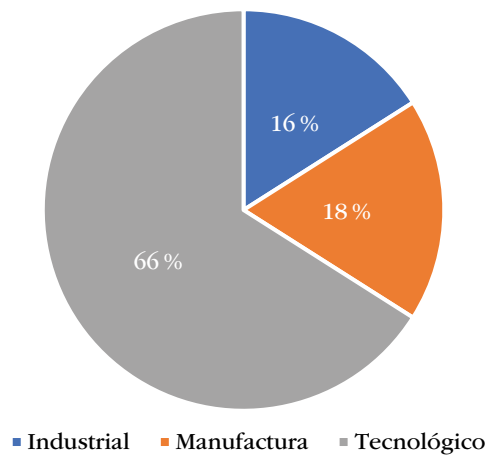


Figura 5. Contribución por sector económico

Fuente: elaboración propia.

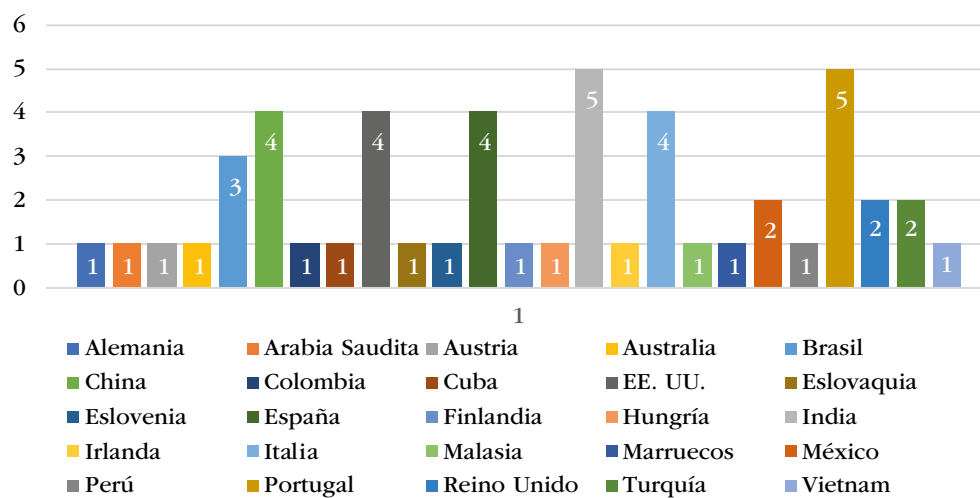


Figura 6. Identificación por país de origen

Fuente: elaboración propia.

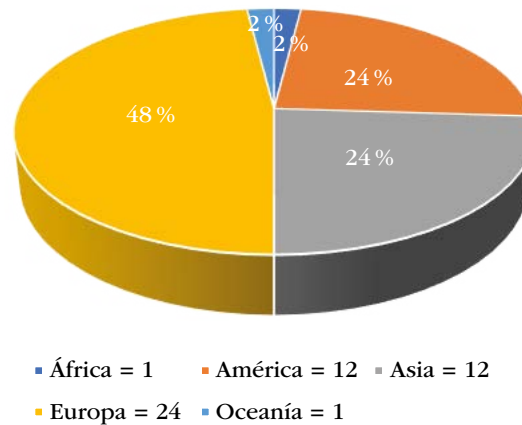


Figura 7. Aportes por continente

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Este artículo presentó una revisión bibliográfica sobre el análisis de las herramientas tecnológicas digitales en el contexto del paradigma de la industria 4.0 y su aplicación en la gestión de la calidad de las organizaciones. Fundamentalmente, la mayor contribución está enfocada en el campo de la tecnología, en comparación con el sector industrial y con el manufacturero, identificando en estos dos últimos sectores la mayor aportación de información e innovaciones, en el mejoramiento de la gestión de la calidad. Asimismo, se destaca como aporte al sector industrial de forma positiva, el mejoramiento en el desempeño de los procesos productivos y una nueva perspectiva transformación tecnológica digital inteligente, con la apertura de cambios fundamentales y avances significativos en la gestión de la calidad de las organizaciones (Canbay & Akman, 2023; Leng et al., 2021b).

Las implicaciones prácticas para las empresas de este estudio exponen que las herramientas tecnológicas digitales empleadas para el mejoramiento de la gestión calidad en los diferentes contextos de la industria 4.0 deben evaluarse de forma diferente para lograr individualmente la calidad y satisfacción de los clientes. Esto teniendo en cuenta que, en la medida en que se generen innovaciones que medien métodos creativos de gestión, cambiarán los enfoques y métodos de gestión de la calidad. Este análisis recomienda que

las empresas en el entorno de la industria 4.0 potencien las exigencias de calidad y de los servicios para mejorar eficazmente la calidad global.

Este estudio se destaca en el ámbito práctico de la gestión empresarial, dado que conecta las operaciones organizacionales con la implementación de tecnologías digitales, examinando cómo la utilidad de las herramientas tecnológicas (inteligencia artificial, automatización, análisis de datos, *big data*, robótica y sistemas ciberfísicos) impulsan la eficiencia productiva, reducen los costos y elevan la competitividad, además de una visión integral del impacto de dichas herramientas tecnológicas inteligentes y la reconfiguración operacional de las organizaciones (Grover et al., 2025).

Investigar acerca de las aplicaciones de la gestión de la calidad en la industria 4.0 proporcionó una base para el aprovechamiento y uso eficaz de los métodos y técnicas de gestión de la calidad aplicadas en las organizaciones. Aunque hay mucho por considerar para ejecutar con éxito dichas herramientas, el artículo se centró en analizar la contribución de la aplicación de las herramientas de la industria 4.0 en la gestión de la calidad e identificar los sectores económicos y regiones geográficas con mejor desempeño productivo. Esta técnica de revisión sistemática es utilizada y validada altamente en la comunidad científica.

Este artículo expone las oportunidades que ofrece la industria 4.0 en aras de promover la implementación de las herramientas tecnológicas inteligentes para la gestión de la calidad en las empresas en cualquier sector económico. En este estudio se empleó la metodología mixta de revisión sistemática y enfoque empírico-positivista, a fin de identificar las implicaciones prácticas de las aplicaciones efectivas de las herramientas de gestión de la calidad y su impacto en la industria 4.0. Estudios desarrollados por otros autores (por ejemplo, Ezahra et al., 2021; Li et al., 2021, o Liu et al., 2023) han aportado nuevas metodologías, técnicas y modelos teóricos empíricos útiles en escenarios de la industria 4.0, el cual converge con los resultados encontrados en esta investigación, en la relación con el enfoque orientado al incremento de la eficiencia que plantea la aplicación de las herramientas para gestión de la calidad en la industria 4.0.

Asimismo, este estudio facilitó la exploración y el análisis de investigaciones relacionadas con la calidad y la aplicación de herramientas tecnológicas en los procesos productivos en las organizaciones de los últimos trece años. No obstante, a lo largo de su desarrollo

se identificaron algunas limitaciones relacionadas, en primer lugar, con la dificultad presentada a la hora de encontrar estudios que informaran sobre cómo se implementa y gestiona la calidad en organizaciones en el paradigma de la industria 4.0, es decir, fue complejo encontrar respuestas a las preguntas relativas a las prácticas, metodologías y herramientas reales que se están utilizando en los enfoques de la calidad 4.0. En segundo lugar, con los autores que utilizaron únicamente técnicas bibliométricas y una muestra relativamente pequeña de artículos. Por último, en tercer lugar, solo se utilizaron dos bases de datos: ScienceDirect y Scopus.

Otros estudios podrían considerar otras bases de datos, como Web of Science, Emerald Insight, entre otras, para obtener una cobertura más amplia. Además, solo se descargaron documentos escritos en inglés, excluyendo los estudios publicados en otros idiomas. Sin embargo, la investigación permitió identificar en la bibliografía diferentes formas de conceptualizar y analizar la calidad, lo que abre vías para futuras investigaciones sobre la gestión de la calidad en la era de la industria 4.0.

Para investigaciones futuras, los autores recomiendan abordar una muestra mayor de casos evidenciados cercanos a las regiones de América de Latina, particularmente con los países que integran el Cono Sur, con lo cual evaluar el impacto de la implementación de las herramientas tecnológicas que impulsen el incremento de la productividad y competitividad en sectores informales emergentes de comercio, servicios, etc., de la economía latinoamericana.

Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura existente permite concluir que las herramientas tecnológicas digitales —inteligencia artificial, automatización, análisis de datos, *big data*, robótica y sistemas ciberfísicos— potencian los sistemas de calidad en el paradigma de la industria 4.0, y son decisiones estratégicas que representan ventajas competitivas a las organizaciones que deciden invertir para impulsar el desempeño operacional, la productividad y competitividad en el sector que se participa.

Este estudio investigó las aplicaciones prácticas y contribuciones de la aplicación de herramientas tecnológicas digitales para la gestión de la calidad en la industria 4.0 en las organizaciones, identificando los aportes y cambios, así como las relaciones e interacciones entre los principios y los sectores económicos y regiones geográficas con mejor desempeño en el contexto de la industria 4.0.

Los sistemas de calidad constituyen el sustento vertebral de la organización, la forma en que estructuran sus procesos, y la industria 4.0, mediante las intervenciones tecnológicas inteligentes, facilita la articulación e interacción entre cada una de las áreas, permitiendo la comunicación, el intercambio, el almacenamiento, el procesamiento de datos y la automatización del proceso, a fin de favorecer el desempeño operacional y la toma de decisiones. Igualmente, su implementación requiere no solo un esfuerzo económico, sino un compromiso del personal involucrado en todos los niveles para lograr máximos beneficios sostenibles en el tiempo, aunado al compromiso de la alta gerencia.

Finalmente, se logró evidenciar que si bien en materia del marco de la industria 4.0 existe una amplia literatura, su enfoque se ha orientado en mayor medida hacia la sostenibilidad y la amigabilidad con el ambiente, frente a su relación con los sistemas de calidad, por lo que en esta materia aún existe tela por cortar y oportunidades de exploración en el campo de la investigación. Este documento ofrece una amplia visión de cómo está cambiando la gestión de la calidad en respuesta a la afirmación del paradigma de la industria 4.0.

Roles de contribución (taxonomía de CRediT)

José Morelos Gómez: conceptualización, curación de datos, análisis formal, metodología, administración del proyecto, recursos, validación, visualización y redacción (borrador original, revisión y edición).

Kevin David Hernández Padilla: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, *software*, validación, visualización y redacción (borrador original, revisión y edición).

Antonio José Pérez Romero: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, *software*, validación, visualización y redacción (borrador original, revisión y edición).

Referencias

- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(1), 899-919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Ali, A. M., Mohamed, E. A., Yacout, S., & Shaban, Y. (2020). Cloud computing based unsupervised fault diagnosis system in the context of Industry 4.0. *Gestao e Producao*, 27(3), 1-19. <https://doi.org/10.1590/0104-530X5378-20>
- Alpala, L. O., Alemany, M. del M. E., Peluffo-Ordoñez, D. H., Bolaños, F., Rosero, A. M., & Torres, J. C. (2018). Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an “industry 4.0” context. *DYNA (Colombia)*, 85(207), 243-252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.68545>
- Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Walia, R., & Bahl, S. (2021). Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. *Materials Today: Proceedings*, 45(1), 5089-5096. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.585>
- Anttila, J., & Jussila, K. (2018). Universities and smart cities: The challenges to high quality. *Total Quality Management and Business Excellence*, 29(9-10), 1058-1073. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1486552>
- Asif, M. (2020). Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*, 258(1), 120820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120820>
- Bharadiya, J. P. (2023). Driving business growth with artificial intelligence and business intelligence. *International Journal of Computer Science and Technology*, 6(4), 28-44. <http://www.ijcst.com.pk/ijcst/article/view/232%0Ahttp://www.ijcst.com.pk/ijcst/article/download/232/187>
- Beaumont, C. D., Berry, D., & Ricketts, J. (2022). Technology has empowered the consumer, but marketing communications need to catch-up: An approach to fast-forward the future. *Business*, 2(2), 246-272. <https://doi.org/10.3390/businesses2020017>

- Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, 312(1), 127733. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733>
- Buccieri, G. P., Muniz, J., Balestieri, J. A. P., & Matelli, J. A. (2020). Expert systems and knowledge management for failure prediction to onshore pipelines: Issue to industry 4.0 implementation. *Gestao e Producao*, 27(3), 1-19. <https://doi.org/10.1590/0104-530x5771-20>
- Calış Duman, M., & Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167(1), 0-3. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120615>
- Canbay, K., & Akman, G. (2023). Investigating changes of total quality management principles in the context of industry 4.0: Viewpoint from an emerging economy. *Technological Forecasting and Social Change*, 189(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122358>
- Chiarello, F., Fantoni, G., Hogarth, T., Giordano, V., Baltina, L., & Spada, I. (2021). Towards ESCO 4.0: Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 173(1), 121177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121177>
- Condé, G. C. P., Oprime, P. C., Pimenta, M. L., Sordan, J. E., & Bueno, C. R. (2022). Quality 4.0: A bibliometric study and research agenda. En *Proceedings of the 5th ICQEM Conference* (pp. 552-572). University of Minho, Portugal. <https://publicacoes.riqual.org/icqem-22-552-572/>
- Corzo, G. D., & Álvarez-Aros, E. L. (2021). Technological competitiveness strategies in mobile connectivity and industry 4.0 communications in Latin America. *Informacion Tecnológica*, 31(6), 183-192. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600183>
- Cui, Y., Kara, S., & Chan, K. C. (2020). Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 62(1), 101861. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101861>
- Díaz Martínez, M. A., Román Salinas, R. V., Santiago Santiago, A. D., Mejía Barrios, C., & Zárate Cruz, R. (2020). Industria 4.0 y la digitalización hacia la satisfacción laboral de las organizaciones en Tampico, Tamaulipas, Mexico. *Revista de Metodos Cuantitativos para la Economia y la Empresa*, 30(1), 43-57. <https://www.econstor.eu/handle/10419/286204>
- Dintén, R., López Martínez, P., & Zorrilla, M. (2021). Arquitectura de referencia para el diseño y desarrollo de aplicaciones para la Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(3), 300. <https://doi.org/10.4995/riai.2021.14532>
- Dornelles J. D. A., Ayala, N., Alejandro G., F. (2022). Smart working in industry 4.0: How digital technologies enhance manufacturing workers' activities. *Computers and Industrial Engineering*, 163(1), 107804. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107804>

- Durana, P., Kral, P., Stehel, V., LazaroIU, G., & Sroka, W. (2019). Quality culture of manufacturing enterprises: A possible way to adaptation to industry 4.0. *Social Sciences*, 8(4), 1-124. <https://doi.org/10.3390/socsci8040124>
- Elghaish, F., Hosseini, M. R., Matarneh, S., Talebi, S., Wu, S., Martek, I., Poshdar, M., & Ghodrati, N. (2021). Blockchain and the “internet of things” for the construction industry: Research trends and opportunities. *Automation in Construction*, 132, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103942>
- Ezahra, F., Benkhathi, I., Kamble, S. S., Belhadi, A., & El, S. (2021). An integrated smart, green, resilient, and lean manufacturing framework: A literature review and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 319(1), 128691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128691>
- Firmino, A. S., Perles, G. X., Mendes, J. V., da Silva, J. E. A. R., & Lopes Silva, D. A. (2020). Towards Industry 4.0: A SWOT-based analysis for companies located in the Sorocaba Metropolitan Region (São Paulo State, Brazil). *Gestao e Producao*, 27(3), 1-21. <https://doi.org/10.1590/0104-530X5622-20>
- Fonseca, L., Amaral, A., & Oliveira, J. (2021). Quality 4.0: The efqm 2020 model and industry 4.0 relationships and implications. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063107>
- Gaur, L., & Ramakrishnan, R. (2019). Developing internet of things maturity model (IoT-MM) for manufacturing. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(1), 2473-2479. <https://doi.org/10.35940/ijitee.A4168.119119>
- Giada, V., & Gosling, J. (2021). A decade of engineering-to-order (2010-2020). Progress and emerging themes. *International Journal of Production Economics*, 241(1), 108274. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108274>
- Grover, A., Sharma, P., Kaswan, M. S., Chaudhary, R., & Kumar, V. (2025). Synergy of social commerce and Industry 4.0: Fostering customer experiences in the digital era. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 1(1), 1-22. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijieom-12-2024-0078/full/html>
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Ngai, W. T. E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207(1), 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.005>
- Javaid, M., Haleem, A., Pratap, R., & Suman, R. (2021a). Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation. *Cognitive Robotics*, 1(1), 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2021.06.001>

- Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., & Suman, R. (2021b). Significance of quality 4.0: Towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*, 2(1), 100109. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100109>
- Kaswan, M. S., Chaudhary, R., Garza-Reyes, J. A., & Singh, A. (2024). A review of industry 5.0: From key facets to a conceptual implementation framework. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 42(4), 1196-1223. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2024-0030>
- Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 297(1), 126655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655>
- Kumar, L., Ibne Hossain, N. U., Fazio, S. A., Awasthi, A., Jaradat, R., & Babski-Reeves, K. (2021). A data driven decision model for assessing the enablers of quality dimensions: Context of industry 4.0. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35(1), 896-910. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.10.003>
- Kurt, R. (2019). Industry 4.0 in terms of industrial relations and its impacts on labour life. *Procedia Computer Science*, 158(1), 590-601. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.093>
- Leng, J., Ruan, G., Jiang, P., Xu, K., Liu, Q., & Zhou, X. (2020). Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132(1), 110112. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110112>
- Leng, J., Wang, D., Shen, W., Li, X., Liu, Q., & Chen, X. (2021). Digital twins-based smart manufacturing system design in industry 4.0: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60(1), 119-137. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.011>
- Li, C., Chen, Y., & Shang, Y. (2021). A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 29(1), 101021. <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2021.06.001>
- Liu, H. C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of Engineering Management*, 10(2), 191-205. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42524-022-0243-z>
- Martínez-Caballero, D., González-González, A., González-González, A., & Cazanave-Macías, J. (2020). Integración de la gestión por procesos y el diseño arquitectónico en organizaciones de servicios públicos. *Ingeniería Industrial*, 41(2), 1-12. <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v41n2/1815-5936-rii-41-02-e4119.pdf>
- Mittal, S., Ahmad, M., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises

- (SME). *Journal of Manufacturing Systems*, 49(1), 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.jm-sy.2018.10.005>
- Müller, J. M. (2019). Contributions of industry 4.0 to quality management: A SCOR perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1236-1241. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.367>
- Nazarenko, A. A., Sarraipa, J., Camarinha-Matos, L. M., Grunewald, C., Dorchain, M., & Jardim-Goncalves, R. (2021). Analysis of relevant standards for industrial systems to support zero defects manufacturing process. *Journal of Industrial Information Integration*, 23(1), 100214. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100214>
- Nedelko, Z. (2021). What drives the usage of management tools supporting industry 4.0 in organizations? *Sensors*, 21(10), 103512 <https://doi.org/10.3390/s21103512>
- Ngoc Thach, N., Thanh Hanh, H., Ngoc Huy, D. T., Gwozdziwicz, S., Viet Nga, L. T., & Thanh Huong, L. T. (2021). Technology quality management of the industry 4.0 and cybersecurity risk management on current banking activities in emerging markets: The Case in Vietnam. *International Journal for Quality Research*, 15(3), 845-856. <https://doi.org/10.24874/ijqr15.03-10>
- Ngu, H. J., Lee, M. D., Shahril, M., & Osman, B. (2020). Review on current challenges and future opportunities in Malaysia sustainable manufacturing: Remanufacturing industries. *Journal of Cleaner Production*, 273(1), 123071. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123071>
- Páez-Gabriunas, I., Sanabria, M., Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R. A., Rivera Virgüez, L., Anzola, D.,... & Saucedo Meza, G. M. (2022). *Transformación digital en las organizaciones*. Editorial Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/items/9b3bdc52-f1a4-4a45-8429-8409adfd2e7a>
- Peralta, M. E., & Soltero, V. M. (2020). Analysis of fractal manufacturing systems framework towards industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 57(1), 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.004>
- Ribeiro, A., Amaral, A., & Barros, T. (2021). Project manager competencies in the context of the Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 181(2019), 803-810. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.233>
- Saad, S. M., & Khamkham, M. A. (2018). Development of an integrated quality management conceptual framework for manufacturing organisations. *Procedia Manufacturing*, 17(1), 587-594. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.100>
- Sabale, D. B., Kaswan, M. S., & Rath, R. (2024). Development of circular economy model using Industry 4.0's machine learning techniques to improve performance metrics of MSMEs. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 1(1), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01782-6>

- Sader, S., Husti, I., & Daróczy, M. (2019). Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27(2), 131-140. <https://doi.org/10.3311/PPSO.12675>
- Sahoo, S., & Yadav, S. (2018). Total quality management in Indian manufacturing SMES. *Procedia Manufacturing*, 21, 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.155>
- Salvadorinho, J., & Teixeira, L. (2021). Stories told by publications about the relationship between industry 4.0 and lean: Systematic literature review and future research agenda. *Publications*, 9(3), 1-29. <https://doi.org/10.3390/publications9030029>
- Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability*, 13(11), 6149. <https://doi.org/10.3390/su13116149>
- Serrano-ruiz, J. C., Mula, J., & Poler, R. (2021). Smart manufacturing scheduling: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 265-287. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.09.011>
- Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S., & Kohl, H. (2018). Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 118(1), 254-267. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.026>
- Sozinova, A. A., Savelyeva, N. K., Chuprakov, D. V., & Saidakova, V. A. (2023). Quality management in industry 4.0 through the movement of labor resources towards the “core” of the digital economy. *Proceedings on Engineering*, 5(S2), 341-354. <https://pesjournal.net/journal/v5-nS2/12.pdf>
- Telukdarie, A., Buhulaiga, E., Bag, S., Gupta, S., & Luo, Z. (2018). Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.030>
- Villa, A., & Taurino, T. (2019). SME innovation and development in the context of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 39(1), 1415-1420. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.311>
- Wang, B., Hu, S. J., Sun, L., & Freiheit, T. (2020). Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*, 56(1), 373-391. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.020>
- Yahya, M., Breslin, J. G., & Ali, M. I. (2021). Semantic web and knowledge graphs for industry 4.0. *Applied Sciences*, 11(11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/app11115110>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2023). The road towards industry 4.0: A comparative study of the state-of-the-art in the Italian manufacturing industry. *Benchmarking: An International Journal*, 30(1), 307-332. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2021-0056>