

¿QUÉ ES LA CALIDAD 4.0? UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA*

GERARDO HERNÁNDEZ CHÁVEZ

<https://orcid.org/0000-0002-1050-5139>

Universidad Politécnica de Tlaxcala, Programa Educativo de Ingeniería Industrial,
Tlaxcala, México

YAZMÍN HERNÁNDEZ CHÁVEZ**

<https://orcid.org/0000-0003-4708-4689>

Universidad Politécnica de Tlaxcala, Programa Educativo de Ingeniería Química,
Tlaxcala, México

Recibido: 22 de enero del 2024 / Aceptado: 15 de febrero del 2024

Publicado: 12 de junio del 2024

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6890>

RESUMEN. El objetivo de la presente investigación es realizar una revisión sistemática de la literatura acerca de la definición de la calidad 4.0, sus elementos, las habilidades que los empleados necesitan para aplicarla y las barreras que han estado enfrentando las empresas para su puesta en marcha. Se recopilaron y revisaron cincuenta artículos obtenidos de Scopus y Google Scholar en un periodo comprendido entre el 2017 y el 2023. En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de acuerdo al año de publicación y las fuentes de publicación. En seguida, los artículos seleccionados fueron clasificados de acuerdo con los cuatro temas de investigación. Finalmente, este estudio contribuye a la literatura de la calidad en la que profesionales, gerentes, empresarios e investigadores puedan comprender y aplicar la calidad 4.0 a fin de mejorar la productividad y competitividad de las organizaciones.

PALABRAS CLAVE: industria 4.0 / calidad / gestión de la calidad total / barreras / habilidades

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: gerardo.hernandez@uptlax.edu.mx; yazmin.hernandez@uptlax.edu.mx

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

WHAT IS QUALITY 4.0? A REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT. The objective of the present research is to conduct a systematic literature review on the conceptual definition of Quality 4.0, the elements of Quality 4.0, the skills needed by employees for Quality 4.0, and the barriers that companies have been facing for the implementation of Quality 4.0. Fifty articles obtained from Scopus and Google Scholar were collected and reviewed over a period from 2017 to 2023. First, a descriptive analysis was performed according to the year of publication and publication sources. Next, the selected articles were classified according to the four research topics. This research contributes to the quality literature in which professionals, managers, entrepreneurs and researchers can understand and apply Quality 4.0 in order to improve the productivity and competitiveness of organizations.

KEYWORDS: industry 4.0 / quality / total quality management / barriers / skills

1. INTRODUCCIÓN

Una opción que las empresas tienen para crear valor y reforzar su ventaja competitiva en una economía dinámica, compleja y tecnológicamente progresista es la transformación digital, la cual requiere del empleo de las nuevas tecnologías para mejorar la calidad de sus productos y servicios (Ormaza & Guerrero-Baena, 2021; Suhaimi & Mustapha, 2023; Sureshchandar, 2022). A esta orientación se le denomina industria 4.0 y representa un nuevo paradigma en los sistemas de producción, pues aplica tecnologías como el *big data*, inteligencia artificial, internet de las cosas, sistemas ciberfísicos, entre otras (Chiarini, 2020; Dias et al., 2022). En ellas, las máquinas, transportes, almacenes y toda la cadena de valor logran intercambiar información, de modo que se posibilita el control del flujo de información, por lo que se obtiene un mayor rendimiento y eficiencia en la producción (Efimova & Briš, 2021; Liu et al., 2023).

De este modo, la industria 4.0 ha dado lugar a un nuevo concepto denominado calidad 4.0. Esta es una concepción emergente de la gestión de la calidad que hace referencia al futuro de la calidad y excelencia organizacional (Baran & Korkusuz, 2022; Barsalou, 2023; Chiarini & Kumar, 2022). La calidad 4.0 combina los métodos tradicionales con las nuevas tecnologías de la industria 4.0, lo que permite a los gerentes de calidad realizar las tareas de manera diferente (Liu et al., 2023). Algunas de las ventajas de la implementación de la calidad 4.0 es la detección temprana de los defectos, el monitoreo continuo en tiempo real, la eliminación de la causa raíz, la predicción de los defectos y la mejora del tiempo de respuesta en la fabricación (Antony et al., 2023b; Javaid et al., 2021; Sader et al., 2022).

La importancia de la calidad 4.0, de acuerdo con Rey et al. (2022) y Salimova et al. (2020), va más allá de la tecnología, pues demanda un compromiso hacia la mejora continua e innovación. Por ello, se requiere de una profunda transformación digital y del compromiso de todos los niveles organizacionales de la empresa, además de una intensa participación activa y programas de capacitación para la actualización de conocimientos y habilidades de los trabajadores. Por eso, es necesario comprender el concepto e importancia de la calidad 4.0 cabalmente. Ante ello, este artículo se propone abordar y fundamentar el entendimiento reciente de la calidad 4.0, por lo que el objetivo de la presente revisión de la literatura es analizar la aproximación conceptual de la calidad 4.0, sus elementos, las habilidades necesarias de los empleados para su aplicación y las barreras para su implementación.

El resto de este trabajo está estructurado de la siguiente manera: en la segunda sección se presenta la metodología adoptada, en la tercera se muestra los resultados, en la cuarta se expone la discusión y, finalmente, se presentan las conclusiones y las futuras líneas de investigación.

1.1 Antecedentes conceptuales

En este apartado, se exponen los antecedentes para la revisión de la literatura a modo de desarrollo histórico de la industria 4.0 y la calidad 4.0.

La industria 4.0

Las revoluciones industriales se han caracterizado, principalmente, por los cambios en las fuentes de energía y comunicación, lo que ha facilitado una mejor productividad en los sistemas de producción. A continuación, se presenta una corta exposición de las revoluciones que antecedieron a la industria 4.0.

La primera Revolución Industrial

La invención que propició la primera Revolución Industrial fue la máquina de vapor en 1772 por Newcomen, lo que modificó los pequeños talleres en grandes fábricas y dio origen al personal operativo y de ingeniería (Garrell & Guilera, 2019). El aumento de la producción separó al trabajador del producto, pues se especializó en tareas específicas que ejecutaba de forma repetida, mecánica y bajo supervisión. De este modo, las ciudades comenzaron a crecer con la llegada de trabajadores del campo a los centros urbanos. La sociedad se modificó en términos higiénicos y sanitarios, lo que provocó, de acuerdo con Zonnenshain y Kenett (2020), problemas de sanidad que causaron las primeras luchas de clases entre capitalistas y obreros.

La segunda Revolución Industrial

A finales del siglo XVIII y XIX, se elaboran grandes innovaciones tecnológicas que dan origen a la segunda Revolución Industrial, tales como la introducción del gas, los derivados del petróleo y la electricidad. Esto causó que ya no sea necesario edificar las fábricas al lado del río y permitió extender sus mercados a otras naciones, lo que favoreció la creación de medios de transporte más eficientes y económicos (Garrell & Guilera, 2019). Es así como se inician las grandes concentraciones empresariales y se consolida el capitalismo, a través de la búsqueda de nuevos mercados para la inversión y en donde se pudiera conseguir las materias primas para la manufactura de sus productos. También se introduce el taylorismo que consiste en la división de tareas y el estudio de tiempos y movimientos en tareas específicas (Zonnenshain & Kenett, 2020).

La tercera Revolución Industrial

La tercera Revolución Industrial se asienta a finales del siglo XX y se caracteriza por la creación de las tecnologías de la información y la sustentabilidad que reconfiguran los sistemas de producción (Zonnenshain & Kenett, 2020). El impacto que ha tenido la

comunicación entre personas a través del internet y de las redes sociales es la posibilidad de interacción sin depender del lugar físico, lo cual ha permitido mejorar el comercio entre los países. Además, estimula la eficiencia energética, lo que amortigua el impacto ambiental. Sin embargo, ha marcado un impacto en los empleos tradicionales como consecuencia de las nuevas tecnologías y del dinamismo económico; por ejemplo, nuevas formas de comunicación a través de las TIC e internet, dimisión de los combustibles fósiles, el trabajo a distancia y el surgimiento paulatino de automóviles eléctricos.

La cuarta Revolución Industrial

La cuarta Revolución Industrial se caracteriza por la incorporación de tecnologías digitales que cambiaron la manera de comunicación entre personas y empresas, lo que da origen al concepto de industria 4.0, el cual surgió en 2011 en Hannover, Alemania, en la feria de la tecnología industrial. Esta revolución ha significado un cambio en la integración de la empresa frente a la cadena de valor, al tener un impacto en la generación de nuevos modelos de negocios y mejorar los sistemas de producción, la productividad y la calidad desde los proveedores hasta los clientes (Demirkol & Al-Futaih, 2020; Sader et al., 2019; Ynzunza et al., 2017). La industria 4.0 tiene como objetivo impulsar una producción autónoma y dinámica apoyada de las tecnologías de la información para facilitar la producción de productos cada vez más personalizados. Por ejemplo, adquirir unas zapatillas a la medida es posible a través de la toma de una muestra, del envío de la información al centro de producción y tenerlas de regreso en un breve tiempo en el domicilio del cliente (García et al., 2020; Grooss et al., 2022; Vrchota et al., 2019).

1.2 La calidad 4.0

Para entender mejor el concepto de calidad 4.0, se presenta brevemente las diferentes etapas de la calidad, de las cuales derivan diferentes conceptos, modelos y herramientas que han servido de apoyo a la etapa actual de la calidad.

Calidad 1.0: inspección y control de calidad

En el transcurso de la primera Revolución Industrial, y con el fortalecimiento de la producción en masa, se produciría una práctica que se haría común con el paso de los años para identificar los defectos: la inspección. Esta ha consistido en verificar si los productos cumplían con ciertas características de calidad previamente establecidas. Sin embargo, esta práctica generaba costos y tiempo; por consiguiente, una forma de resolver el problema fue a través de las cartas de control que propuso Walter Shewhart en 1920 cuando trabajó en Bell Labs, las cuales identificaban defectos durante el proceso y no al final (Duraković & Halilovic, 2023). Más tarde, en 1930, Dodge y Roming establecen las tablas de muestreo para evitar realizar inspecciones al 100 %, los cuales generaban

altos costos (Hernández et al., 2011). Esta combinación entre inspección y control estadístico, de acuerdo con Antony et al. (2022a), puede describirse como calidad 1.0 y tiene un enfoque reactivo al detectar defectos para posteriormente corregirlos.

Calidad 2.0: aseguramiento de la calidad

La siguiente etapa de esta evolución de la calidad fue el aseguramiento de la calidad o, como la nombra Antony et al. (2022a), la calidad 2.0. Esta evoluciona de un enfoque reactivo a uno preventivo y, ahora, se centra en evitar defectos al mejorar la productividad en las diferentes etapas del proceso productivo. La calidad 2.0 pretende asegurar la calidad del producto o servicio dando prioridad al control y certificación desestimando sus principios y fundamentos. No obstante, existe un inconveniente con las normas ISO 9000, debido a que estas no garantizan que una organización está comprometida con la calidad al considerarlas un requisito para hacer negocios y no asumir la responsabilidad de las partes interesadas con la mejora continua (Hernández et al., 2022).

Calidad 3.0: gestión de la calidad total

La posterior etapa de la evolución de la calidad se denomina calidad 3.0. En ella surge el concepto de gestión de la calidad total que adoptó una perspectiva holística enfocada a la mejora de la calidad (Antony et al., 2022a). Con la incorporación de los avances tecnológicos, se facilitó la comunicación entre trabajadores, proveedores y clientes. Esta época se destaca por la productividad y eficiencia, en la que aparecen diferentes metodologías como manufactura esbelta y *six sigma*. Además, se proponen diferentes modelos de calidad total como el Malcolm Baldrige y el de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad, entre otros (Broday, 2022; Hernández et al., 2011).

Calidad 4.0: digitalización de la administración de la calidad

Los cambios en las preferencias de los clientes han generado que las empresas adopten mejoras de manera continua, inteligente y robusta. Para ello, han acogido las nuevas tecnologías que han emergido de la industria 4.0 para aplicarlas a la calidad, lo que originó un nuevo concepto: calidad 4.0. Esta consiste en combinar las nuevas tecnologías con los métodos y herramientas tradicionales de la calidad con el fin de mejorarla en los procesos, la eficiencia y el rendimiento de la empresa buscando ser un enfoque proactivo (Antony et al., 2022a; Bousdekis et al., 2023; Martínez et al., 2022). La historia de la calidad continuará y seguirá evolucionando a medida que se busquen resultados excepcionales para la organización.

2. METODOLOGÍA

En el presente estudio se realiza una revisión sistemática de la literatura (RSL) para analizar las publicaciones académicas con respecto a la calidad 4.0. Se seleccionó este método porque permite recopilar información generada por investigaciones de un tema determinado (Manterola et al., 2013). La RSL consiste básicamente en definir palabras clave de recuperación, recopilación e identificación de datos, análisis de la literatura y análisis descriptivo. El primer paso consistió en realizar una revisión exploratoria de estudios existentes de la calidad 4.0. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda en títulos de artículos, resúmenes y palabras clave fueron *calidad 4.0*, *industria 4.0* y *gestión de la calidad*.

En segundo lugar, se consultaron las bases de datos Scopus y Google Scholar para buscar el mayor número de artículos publicados. En esta etapa se incluyeron artículos en inglés y español en revistas revisadas por pares en el periodo 2017-2023. Sin embargo, se localizaron mayormente artículos en inglés y muy pocos en español. El resultado de la recuperación inicial estaba compuesto por 206 elementos. Mediante la eliminación de elementos duplicados, se identificaron 175 artículos restantes para eliminar los que no estaban relacionados. Entonces, se establecieron las siguientes reglas para tener una literatura objetiva: (1) se retuvo el artículo que se centró en la investigación teórica o empírica sobre la calidad 4.0 y (2) se incluyó el artículo que abordaba la gestión de la calidad en el contexto de la industria 4.0. Al final, se seleccionaron 50 documentos dentro del alcance de la revisión para ser analizados posteriormente. Finalmente, las clasificaciones se determinaron de acuerdo con los aspectos más destacados y las contribuciones de los artículos seleccionados.

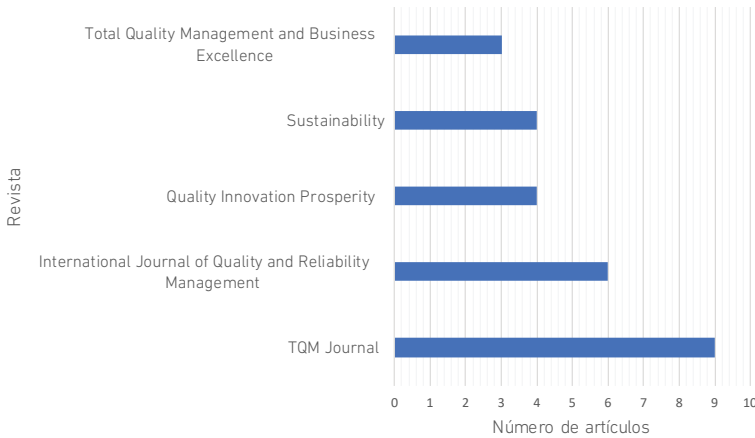
3. RESULTADOS

3.1 Análisis descriptivo

Las tres revistas principales que publican acerca de la calidad 4.0 son la *TQM Journal*, *International Journal of Quality and Reliability Management* y *Quality Innovation Prosperity* (véase la Figura 1). La mayoría de los artículos han sido publicados en revistas especializadas en calidad. Además, temas relacionados a la calidad 4.0 se publica en varias revistas sobre negocios, gestión y contabilidad, ingeniería y ciencias de la computación, lo que muestra el impacto multifacético de la calidad 4.0. Con respecto a los métodos de investigación utilizados, los artículos revisados utilizaron una amplia variedad de métodos. La revisión de literatura es la más utilizada en las publicaciones, seguida de la aplicación de modelos propuestos para la aplicación de la calidad 4.0.

Figura 1

Número de artículos por revista

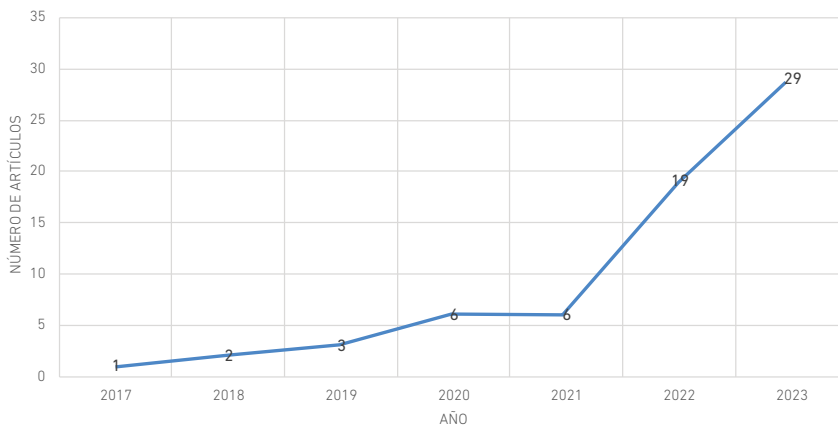


3.2 Análisis de contenido

Los estudios seleccionados han examinado diversos aspectos de la calidad 4.0. En esta sección, proporcionamos un análisis descriptivo de las publicaciones por año y las fuentes de publicación (véase la Figura 2). Se realizó un mapeo primario basado en la producción anual de artículos para lograr una visión general de los documentos revisados. La Figura 2 muestra una tendencia ascendente en la cantidad de publicaciones por año sobre la calidad 4.0, lo que indica que esta área de investigación ha ganado una atención creciente por parte de los investigadores en los últimos años. A partir del 2020, las publicaciones comenzaron a aumentar rápidamente, especialmente en el 2022.

Figura 2

Producción de artículos por año



3.3 Concepto de la calidad 4.0

En la actualidad el término *calidad* cuenta con una diversidad de significados, destacando la propuesta de Crosby (1998), que la define como “conformidad con las especificaciones” (p. 22); Deming (1989) la determina como la “satisfacción del cliente” (p. 132); por su parte, Juran (1989) la establece como “la adecuación al uso” (p. 25); Feigenbaum (1986) la explica como “relación entre el valor percibido por el usuario y los costos globales asociados” (p. 37); e Ishikawa (1985) precisa que la calidad implica el “desarrollar, diseñar, producir y proveer un producto de calidad accesible, apropiado y satisfactorio para el cliente” (p. 59). Por ello, tener una definición universal resulta complejo. De esta manera, Rooney (2018) destaca que la palabra *calidad* debe ir acompañada de otras: por ejemplo, *calidad del producto, proceso, servicio*, entre otras, para facilitar la perspectiva desde donde se la observe. Por todo ello, el término *calidad 4.0* se aprecia bajo la óptica de las tecnologías de la industria 4.0.

Desde una perspectiva más particular, Watson (1998) ya había predicho el término *calidad 4.0* debido al creciente uso de las tecnologías de las telecomunicaciones, las computadoras y el internet en los años noventa. En el año 2017, emerge el concepto de calidad 4.0 propuesto por Dan Jacob, director de investigación en LNS Research, una compañía de consultoría e investigación en manufactura en Alemania. En la Tabla 1 se muestran algunas de las definiciones localizadas en la revisión bibliográfica, cuyo rango de publicación 2017-2023. Como puede observarse, el término es nuevo, a pesar del creciente número de estudios publicados; por ello, muy pocos investigadores han intentado conceptualizarla.

Tabla 1

Concepto de calidad 4.0

| Autor | Definición |
|-------------------------|--|
| Jacob (2017) | Es la digitalización de la administración de la calidad que impacta en la tecnología, los procesos y las personas. |
| Paraschivescu (2021) | Es la transformación y mejora de la cultura de la organización, la colaboración, el desarrollo de habilidades y liderazgo, entre otros, a través de la aplicación de la tecnología. |
| Escobar et al. (2021) | Es una combinación de herramientas y metodologías que aprovecha las nuevas tecnologías de la industria 4.0, como el <i>big data</i> , internet de las cosas e inteligencia artificial para la recopilación y análisis de datos para la toma de decisiones. |
| Chiarini y Kumar (2022) | Es un enfoque centrado en el cliente y habilitado digitalmente para la integración de personas, procesos y tecnología en la cadena de valor para la toma de decisiones basadas en evidencia en colaboración con las partes interesadas. |

(continúa)

(continuación)

| Autor | Definición |
|-----------------------|---|
| Sader et al. (2022) | Es un enfoque ampliado de la gestión de la calidad, donde las tecnologías recientes se integran con las prácticas tradicionales de calidad para ampliar el alcance de la gestión de la calidad y mejorar el rendimiento y la eficiencia de las actividades. |
| Antony et al. (2022b) | Es una combinación de nuevas tecnologías, herramientas y métodos de calidad tradicionales para lograr un mejor rendimiento, excelencia operativa e innovación óptima. |
| Dias et al. (2022) | Es la entrega de una calidad superior, utilizando tecnología moderna para aumentar las capacidades tanto de las personas como de las herramientas y métodos de calidad. |
| Souza et al. (2022) | Es aquel término que representa una actualización tecnológica de la forma de gestionar la calidad, impulsada por la industria 4.0, reconociendo la calidad total de los procesos, productos y personas de una organización. |
| Liu et al. (2023) | Es la digitalización de la gestión de la calidad utilizando tecnologías modernas y considerando la conexión, inteligencia y automatización para mejorar el desempeño en toda la cadena de valor. |

Cabe destacar que la revisión de las definiciones anteriores revela similitudes entre ellas. Todas estas definiciones resaltan la importancia de utilizar nuevas tecnologías de la industria 4.0 y, al mismo tiempo, herramientas y metodologías que influyen en el valor agregado que puede generar la organización. Evidentemente, la calidad 4.0 está relacionada con la industria 4.0 al modificar tareas tradicionales, como la inspección y control o la introducción de sensores en la maquinaria y líneas de producción, lo cual le permite detectar deficiencias en tiempo real para lograr mejorar la toma de decisiones conforme a una mejor disposición de datos, lo que favorece un enfoque preventivo.

3.4 Elementos para la implementación de la calidad 4.0

En la Tabla 2 se observa los elementos que consideran trece investigadores para la implementación de la calidad 4.0. La cantidad de componentes suelen diferir, pues en algunos se consideran seis elementos y en otros hasta trece; sin embargo, hay similitudes entre los autores. Al analizar los componentes que más aparecen en los diferentes modelos, se encuentran en primer lugar la cultura organizacional y el liderazgo, lo que revela la importancia que debe asumir la organización con respecto al factor humano. En segundo lugar, se encuentran los datos, que es la parte central de la calidad, lo que permite tomar decisiones y llevar a cabo las acciones de mejora. En tercer lugar, aparece el cumplimiento, el cual incluye las normas regulatorias y los requisitos del cliente. En cuarto lugar, se ubican las competencias de los trabajadores, las cuales son relevantes para la operación de los procesos con el apoyo de las tecnologías de la industria 4.0 implementadas. Les siguen en orden de aparición el análisis, la conectividad, la administración de sistemas, el desarrollo de aplicaciones, la escalabilidad, el apoyo de la alta administración, la transformación digital y el enfoque al cliente.

Tabla 2*Elementos para la calidad 4.0*

| Autor | Elementos |
|-----------------------------|---|
| Jacob (2017) | Datos, análisis, conectividad, colaboración, desarrollo de aplicaciones, escalabilidad, administración de sistemas, cumplimiento, cultura, liderazgo y competencia. |
| Sony et al. (2020) | Manejo de macrodatos, análisis prescriptivo, integración horizontal, vertical y de extremo a extremo, ventaja competitiva, liderazgo, cultura, capacitación y apoyo de la alta administración. |
| Antony et al. (2022b) | Apoyo de la alta administración, cultura organizacional, liderazgo, visión y estrategia, conocimiento, enfoque al cliente, gestión de proveedores y capacitación. |
| Alrabadi et al. (2023) | Datos, conectividad, colaboración, desarrollo de aplicaciones, escalabilidad, administración de sistemas, cumplimiento, cultura, liderazgo, competencia y transformación digital. |
| Ranjith Kumar et al. (2022) | Liderazgo, cultura, competencia, integración, sistemas de administración, cumplimiento, datos, análisis, conectividad y escalabilidad. |
| Sureshchandar (2022) | Liderazgo estratégico, cultura de calidad, enfoque al cliente, administración del sistema de calidad, cumplimiento, competencia, pensamiento analítico, métricas y datos para la toma de decisiones, análisis avanzado, gobernanza de datos, innovación, nuevas tecnologías. |
| Van Nguyen et al. (2023) | Alta administración, cultura de calidad, habilidades, organización inteligente, integración del desarrollo sustentable, control automático de documentos, control de calidad inteligente y productos inteligentes. |
| Chiarini y Kumar (2022) | Alta administración, mapeo de procesos, colección automática de datos, integración de datos con MRP, inteligencia artificial y <i>software</i> predictivo, comunicación máquina a máquina, tecnologías inteligentes para la identificación y la trazabilidad, control automático de documentos y habilidades digitales para el personal de calidad. |
| Thekkoote (2022) | Datos, análisis, conectividad, colaboración, desarrollo de aplicaciones, escalabilidad, cumplimiento, cultura organizacional, liderazgo, capacitación. |
| Mittal et al. (2024) | Análisis, desarrollo de aplicaciones, colaboración, liderazgo, competencia, cumplimiento, conectividad, gestión de datos, sistema de gestión, cultura de calidad y escalabilidad. |
| Zulqarnain et al. (2022) | Cumplimiento, competencia, liderazgo, conectividad, colaboración, cultura, sistema de administración, aplicaciones basadas en la web, escalabilidad, análisis y datos. |
| Zulfiqar et al. (2023) | Compromiso y apoyo de la alta administración, liderazgo, cultura organizacional, competencias de los empleados, ISO para los sistemas de calidad e implementación. |
| Maganga y Taifa (2023a) | Visión y estrategia, colaboración y liderazgo, enfoque al cliente y proveedor, capacitación, cultura de calidad, conocimiento, apoyo de la alta administración, infraestructura, inversión en tecnología, integración, sistemas de gestión y cumplimiento. |

3.5 Nuevas habilidades de los empleados para la implementación de la calidad 4.0

Con respecto a las habilidades que los empleados deben tener para facilitar la implementación de la calidad 4.0, se encuentran en primera instancia la creatividad, comunicación, liderazgo, aprendizaje, resolución de problemas, ciencia de datos y habilidades digitales (véase la Tabla 3). En segundo lugar, se detectan las habilidades de trabajo en equipo, adaptabilidad, cultura organizacional, análisis, inteligencia emocional, enfoque de sistemas y mejora continua. Finalmente, se encuentran las habilidades de programación y toma de decisiones basada en datos (véase la Tabla 3).

Tabla 3

Habilidades de los empleados para la implementación de la calidad 4.0

| Habilidades | Autor |
|-----------------------------|--|
| Creatividad | Antony et al. (2021); Dias et al. (2022); Santos et al. (2021) |
| Trabajo en equipo | Antony et al. (2022b); Dias, et al. (2022) |
| Adaptabilidad | Antony et al. (2022b); Dias et al. (2022) |
| Ciencia de datos | Antony et al. (2021, 2022b); Barsalou (2023) |
| Cultura organizacional | Antony et al. (2023a); Chiarini y Kumar (2022) |
| Análisis | Antony et al. (2022a); Santos et al. (2021) |
| Programación | Santos et al. (2021) |
| Inteligencia emocional | Chiarini y Kumar (2022); Santos et al. (2021) |
| Habilidades digitales | Antony et al. (2021); Chiarini y Kumar (2022); Sony et al. (2020) |
| Comunicación | Antony et al. (2022b); Chiarini y Kumar (2022); Sony et al. (2021) |
| Resolución de problemas | Antony et al. (2021); Balouei Jamkhaneh et al. (2022); Chiarini y Kumar (2022); Santos et al. (2021) |
| Enfoque de sistemas | Barsalou (2023); Santos et al. (2021) |
| Decisiones basadas en datos | Barsalou (2023) |
| Mejora continua | Antony et al. (2022b); Barsalou (2023) |
| Liderazgo | Antony et al. (2021); Dias et al. (2022); Santos et al. (2021) |
| Aprendizaje | Ali y Johl (2022); Antony et al. (2023a); Dias et al. (2022); Santos et al. (2021) |

3.6 Barreras en la implementación de la calidad 4.0

Como se muestra en la Tabla 4, la barrera que más impacta en la implementación de la calidad 4.0 es la falta de conocimiento acerca del marco de referencia. Aunque existen algunas propuestas, como se mostró en la Tabla 2, no existe todavía una que sea universalmente aceptada, pues es un tema reciente. La segunda barrera es la falta de presupuesto para la adquisición de equipos y recursos humanos para su operación y mantenimiento, aunque Maganga y Taifa (2023b) destacan que una barrera importante a

tener en cuenta en los países en vías de desarrollo es la de infraestructura como la electricidad sin interrupciones y el internet de alta velocidad (véase la Tabla 4). La tercera es la resistencia al cambio cultural, debido a que para algunos operadores y administradores representa una forma diferente de operar y monitorear los diferentes procesos, lo cual les genera cierta incertidumbre (véase la Tabla 4). La cuarta es la falta de compromiso de la alta dirección al desconocer la estimación de la inversión y, finalmente, la ciberseguridad y protección de datos (véase la Tabla 4).

Tabla 4

Barreras en la implementación de la calidad 4.0

| Barrera | Autor |
|--------------------------------------|---|
| Conocimiento | Antony et al. (2023a); Komkowski et al. (2023); Saihi et al. (2023); Sony et al. (2020) |
| Resistencia cultural | Antony et al. (2023a); Sony et al. (2020); Suhaimi y Mustapha (2023) |
| Presupuesto | Antony et al. (2023a); Saihi et al. (2023); Sony et al. (2020); Suhaimi y Mustapha (2023) |
| Compromiso de la alta administración | Antony et al. (2023a); Sony et al. (2021) |
| Ciberseguridad | Saihi et al. (2023) |
| Protección de datos | Saihi et al. (2023) |

4. DISCUSIÓN

4.1 Definiciones de la calidad 4.0

La revisión de la literatura revela que varios autores han propuesto algunas definiciones de la calidad 4.0, pero aún no hay una definición universalmente aceptada al ser un tema en desarrollo. La primera explicación de la calidad 4.0 la proporciona Jacob (2017), quien destaca tres elementos importantes —como las tecnologías, las personas y los procesos— con el objetivo de lograr una mayor eficiencia operacional, lo que facilita el trabajo de las personas apoyadas de las tecnologías de la industria 4.0. De esta manera, lo que busca la calidad 4.0 es integrar el proceso de producción a través de datos que, al estar conectados, permitan el monitoreo, análisis y control de toda la cadena de valor para la toma de decisiones en tiempo real, lo que evitará paros o rechazos de producción y facilitará la producción de bienes o servicios con una mayor calidad, a menor costo y a tiempo, y así lograr una mayor competitividad para la organización (Antony et al., 2022a; Liu et al., 2023; Maganga & Taifa, 2022). En suma, la calidad 4.0 la definimos como la transformación y mejora de la cultura organizacional, la colaboración, las habilidades y el liderazgo mediante la aplicación de las tecnologías de la industria 4.0 sin reemplazar la calidad tradicional para ofrecer productos y servicios cada vez más personalizados e innovadores.

4.2 Elementos de la calidad 4.0

Según Jacob (2017), la industria 4.0 está digitalizando los procesos que se han traducido en la eficiencia operativa, un mejor rendimiento en la cadena de suministro, en la innovación de los productos y en el surgimiento de nuevos modelos de negocios. Algunos investigadores han hecho propuestas de algunos modelos para la calidad 4.0 a través de revisiones de literatura, tales como Antony et al. (2022b), Ranjith Kumar et al. (2022), Sony et al. (2020), Sureshchandar (2022), Thekkoote (2022). Otros, como Alrabadi et al. (2023), Maganga y Taifa (2023a), Van Nguyen et al. (2023), Zulfiqar et al. (2023) y Zulqarnain et al. (2022), lo hicieron por medio de la exploración de factores clave utilizando algunas técnicas como la *delphi* y el proceso de jerarquía analítica aplicado en cuestionarios a expertos en el tema. Por consiguiente, se destacan doce elementos para la implementación de la calidad 4.0. Estos son (1) cultura organizacional, (2) liderazgo, (3) datos, (4) cumplimiento, (5) competencia, (6) análisis, (7) conectividad, (8) administración de sistemas, (9) desarrollo de aplicaciones, (10) escalabilidad, (11) apoyo de la alta administración y (12) enfoque al cliente.

4.3 Habilidades para la implementación de la calidad 4.0

Conforme al análisis realizado a los documentos consultados, las habilidades más solicitadas para la calidad 4.0 son la creatividad, ciencia de datos, habilidades digitales, comunicación, resolución de problemas, liderazgo, aprendizaje, trabajo en equipo, adaptabilidad, cultura para la calidad, análisis, inteligencia emocional, enfoque de sistemas y mejora continua. Estas habilidades permitirán tomar mejores decisiones, pero se requiere un cambio en el estilo de trabajo y ambiente laboral que propicie la participación y adaptación a las nuevas tecnologías (Santos et al., 2021). En tal sentido, los trabajadores con habilidades competentes para la calidad 4.0 son una parte esencial para la transformación digital en la organización (Santos et al. 2021; Suhaimi & Mustapha, 2023).

4.4 Barreras en la implementación de la calidad 4.0

La digitalización incorpora diferentes campos de conocimiento, tecnologías y herramientas digitales modernas, y relaciones futuras entre individuos de muchos sectores. Para las pymes, según destacan Ali y Johl (2023), Buenrostro (2022), Ladino-Fernández et al. (2022) y López (2023), esto representa un problema debido, principalmente, a que carecen de interés en aplicar nuevas tecnologías por las dificultades que tienen para acceder a ellas, la falta de articulación con la cadena de valor, el costo de la inversión, las dificultades de financiamiento y apoyo gubernamental o la poca difusión de programas de apoyo, el no contar con la adecuada protección de la información de las empresas —que es de carácter sensible y confidencial— y la resistencia al cambio por parte de directivos y trabajadores.

5. CONCLUSIÓN

En resumen, el estudio explica que la calidad 4.0 es un paradigma reciente que se apoya de las tecnologías de la industria 4.0 con las metodologías, enfoques y herramientas de las etapas anteriores, lo cual permite una mejor visibilidad y transparencia a las partes interesadas para la toma de decisiones. Los cambios en las prácticas de calidad han sido la automatización de la inspección y el control de productos y procesos al contar con datos en tiempo real que permite una mejor integración de la cadena de valor. Al mismo tiempo, exige la adopción de una cultura de calidad y liderazgo orientados a la transformación.

En cuanto a los elementos clave para implementar la calidad 4.0, se destacan doce: (1) cultura organizacional, (2) liderazgo, (3) datos, (4) cumplimiento, (5) competencia, (6) análisis, (7) conectividad, (8) administración de sistemas, (9) desarrollo de aplicaciones, (10) escalabilidad, (11) apoyo de la alta administración y (12) enfoque al cliente. Asimismo, la mayoría de los documentos revisados mencionan la inversión en tecnologías de la industria 4.0 como un factor clave hacia la calidad 4.0.

Por consiguiente, una parte importante del cambio para las organizaciones para la implementación de la calidad 4.0 es el desarrollo de nuevas habilidades técnicas y blandas de sus colaboradores. En tal sentido, ello se deberá reflejar en la mejora de la calidad del producto, en la eficiencia del proceso productivo y el servicio al cliente. Además, las principales barreras en la implementación de la calidad 4.0 son la falta de un marco de referencia, el presupuesto, la resistencia al cambio y la falta de apoyo de la alta dirección.

Se recomienda, en futuras investigaciones, construir un marco de referencia para un contexto latinoamericano debido a que las propuestas analizadas en el presente documento son de un contexto diferente al nuestro. De la misma forma, esta investigación tiene algunas limitaciones debido a los criterios de búsqueda y bases de datos consultadas. Por ello, es posible que no se haya considerado investigaciones potencialmente valiosas. Además, se consideraron principalmente publicaciones en revistas profesionales y de alto rango.

6. REFERENCIAS

- Ali, K., & Johl, S. K. (2022). Soft and hard TQM practices: future research agenda for industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(13-14), 1625-1655. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1985448>
- Ali, K., & Johl, S. K. (2023). Impact of total quality management on industry 4.0 readiness and practices: does firm size matter? *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(4), 567-589. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2128213>

- Alrabadi, T. B., Talib, Z.M., & Abdullah, A. B. (2023). The role of quality 4.0 in supporting digital transformation: Evidence from telecommunication industry. *International Journal of Data and Network Science*, 7(2), 717-728. <https://doi.org/10.5267/ijdns.2023.2.006>
- Antony, B., Bhat, S., Jayaraman, R., McDermott, O., Sony, M., & Snee, R. (2022a). The genealogy of quality 4.0. From inspection to automation, the quest to meet standards evolves. *ISE Magazine*, 54(4). <https://www.iise.org/isemagazine/details.aspx?id=52932>
- Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2022b). Quality 4.0 conceptualization and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study. *The TQM Journal*, 34(5), 1169-1188. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0215>
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E., & Doulatbadi, M. (2023a). Benefits, challenges, critical success factors and motivations of quality 4.0 - A qualitative global study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(7-8), 827-846. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2113737>
- Antony, J., Sony, M., Furterer, S., McDermott, O., & Pepper, M. (2021). Quality 4.0 and its impact on organizational performance: an integrative viewpoint. *The TQM Journal*, 34(6), 2069-2084. <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2021-0242>
- Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R., & Flynn, D. (2023b). An exploration of organizational readiness factors for quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(2), 582-606. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0357>
- Balouei Jamkhaneh, H., Shahin, A., Parkouhi, S. V., & Shahin, R. (2022). The new concept of quality in the digital era: a human resource empowerment perspective. *The TQM Journal*, 34(1), 125-144. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0030>
- Baran, E., & Korkusuz, T. (2022). Classification of industry 4.0 for total quality management. A review. *Sustainability*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063329>
- Barsalou, M. (2023). Root cause analysis in quality 4.0. A scoping review of current state and perspectives. *TEM Journal*, 12(1), 73-79. <https://doi.org/10.18421/TEM121-10>
- Bousdekis, A., Lepenioti, K., Apostolou, D., & Mentzas, G. (2023). Data analytics in quality 4.0: literature review and future research directions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(5), 678-701. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2128219>
- Brodady, E. E. (2022). The evolution of quality: from inspection to quality 4.0. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 14(3), 368-382. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-09-2021-0121>

- Buenrostro, H. E. (2022). Propuesta de adopción de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en las pymes mexicanas. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81347>
- Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *The TQM Journal*, 32(4), 603-616. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0082>
- Chiarini, A., & Kumar, M. (2022). What is quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 60(16), 4890-4910. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1942285>
- Crosby, P. B. (1998). *La calidad no cuesta: el arte de cerciorarse de la calidad*. CECSA.
- Deming, W. E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis*. Ediciones Díaz de Santos.
- Demirkol, I., & Al-Futaih, A. (2020). The relationship between industry 4.0 and lean production: an empirical study on Bursa Manufacturing Industry. *Journal of Business Research-Turk*, 12(2), 1083-1097. <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.897>
- Dias, A. M., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (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. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0247>
- Duraković, B., & Halilovic, M. (2023). The new quality management paradigm in era of the industrial internet of things. *International Journal on Informatics Visualization*, 7(2), 580-587. <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.7.2.1738>
- Efimova, A., & Briš, P. (2021). Quality 4.0 for processes and customers. *Quality Innovation Prosperity*, 25(3), 33-47. <https://doi.org/10.12776/qip.v25i3.1609>
- Escobar, C. A., McDovern, M. E., & Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32, 2319-2334. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01765-4>
- Feigenbaum, A. V. (1986). *Control total de la calidad*. CECSA.
- García, A. G., Martínez, A., & Álvarez, M. (2020). Los retos de las pymes en el contexto de la industria 4.0. En A. Martínez, M. L. Álvarez & A. García (Eds.), *Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas* (pp. 55-75). Plaza y Valdés.
- Garrell, A., & Guilera, L. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Marge Books.

- Grooss, O. F., Presser, M., & Tambo, T. (2022). Surround yourself with your betters: recommendations for adopting industry 4.0 technologies in SMEs. *Digital Business*, 2(2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100046>
- Hernández, G., Hernández, Y., & Sánchez, J. A. (2011). La administración de la calidad. Antecedentes y prospectiva. *CiBlyT*, 6(15), 7-11.
- Hernández, G., Jaramillo, J., & Hernández, Y. (2022). La relación entre la cultura organizacional y la gestión de la calidad total en las pymes. *Estudios de Administración*, 29(2), 79-104. <https://doi.org/10.5354/0719-0816.2022.67726>
- Ishikawa, K. (1985). ¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa. Norma.
- Jacob, D. (2017). *Quality 4.0 impact and strategy handbook. Getting digitally connected to transform quality management*. LNS research. https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/quality-4-0-impact-strategy-109087.pdf
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Significance of quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*, 2, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100109>
- Juran, J. M. (1989). *Juran y liderazgo para la calidad: un manual para directivos*. Juran Institute, Inc.
- Komkowski, T., Antony, J. Garza-Reyes, J. A., Tortorella, G., & Pongboonchai-Empl, T. (2023). A systematic review of the integration of industry 4.0 with quality-related operational excellence methodologies. *Quality Management Journal*, 30(1), 3-15. <https://doi.org/10.1080/10686967.2022.2144783>
- Ladino-Fernández, J. M., Briceño-Barrero, D. L. & Rodríguez, L. A. (2022). Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá, Colombia. *Mutis*, 12(1), 1-18. <https://doi.org/10.21789/22561498.1784>
- Liu, H. C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total management to quality 4.0: a systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of Engineering Management*, 10(2), 191-205. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
- López, S. R. (2023). Impacto de la tecnología en la generación de la industria 4.0 en las pymes. Estudio diagnóstico en empresas de la ciudad de Puebla. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 12(24), 1-25. <https://doi.org/10.23913/ricea.v12i24.208>
- Maganga, D., & Taifa, I. (2022). Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. *The TQM Journal*, 35(2), 389-413. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2021-0328>

- Maganga, D. & Taifa, I. (2023a). Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries. *The TQM Journal*, 35(6), 1417-1448. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2022-0036>
- Maganga, D., & Taifa, I. (2023b). The readiness of manufacturing industries to transit to quality 4.0. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(7), 1729-1752. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2022-0148>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009>
- Martínez, C., Adán, P., Arribas, J., Porras, E., & Maldonado, J. (2022). Aproximación al concepto de calidad, evolución y futuro de la calidad. En C. Martínez (Ed.), *Modelos de calidad y su evaluación* (pp. 20-44). UNED.
- Mittal, A., Kumar, V., Verma, P., & Singh, A. (2024). Evaluation of organizational variables of quality 4.0 in digital transformation: the study of an Indian manufacturing company. *The TQM Journal*, 36(1), 178-207. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0236>
- Ormaza, M. G., & Guerrero-Baena, M. D. (2021). Gestión de calidad y crecimiento empresarial: análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 318-333. <https://doi.org/10.52080/rvg93.22>
- Paraschivescu, A. O. (2021). Quality 4.0. *Economy Transdisciplinary Cognition*, 24(2), 5-17. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/quality-4-0/docview/2662040095/se-2>
- Ranjith Kumar, R., Ganesh, L.S., & Rajendran, C. (2022). Quality 4.0 - a review of and framework for quality management in the digital era. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1385-1411. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2021-0150>
- Rey, S. P., Garivay, F., Jacha, J. P., & Malpartida, J. N. (2022). Industria 4.0 y gestión de calidad empresarial. *Revista Venezolana de Gerencia*, 27(97), 289-298. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.97.20>
- Rooney, F. (2018). *Senior management and quality: how to leverage quality for profit*. Quality Press.
- Sader, S., Husti, I., & Daróczi, 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>

- Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2022). A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(9-10), 1164-1182. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>
- Saihi, A., Awad, M., & Ben-Daya, M. (2023). Quality 4.0: leveraging industry 4.0 technologies to improve quality management practices - a systematic review. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 40(2), 628-650. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2021-0305>
- Salimova, T., Vatolkina, N. Makolov, V., & Anikina, N. (2020). The perspective of quality management system development in the era of Industry 4.0. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 8(4), 483-495.
- Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanovic, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability*, 13(11), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su13116149>
- Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: a narrative review of literature and future directions for research. *The TQM Journal*, 32(4), 779-793. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0275>
- Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., & McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. *The TQM Journal*, 33(6), 1502-1515. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272>
- Souza, F. F. de, Corsi, A., Pagani, R. N., Balbinotti, G., & Kovaleski, J. L. (2022). Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. *The TQM Journal*, 34(4), 749-769. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0238>
- Suhaimi, S., & Mustapha, R. (2023). Impact of organizational barriers, inefficiencies and support on digital transformation: perception on quality 4.0. *Global Business and Management Research*, 15(2s), 101-115. <http://www.gbmrjournal.com/pdf/v15n2s/V15N2s-8.pdf>
- Sureshchandar, G. S. (2022). Quality 4.0 - understanding the criticality of the dimensions using the analytic hierarchy process (AHP) technique. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1336-1367. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2021-0159>
- Thekkoote, R. (2022). Enabler toward successful implementation of quality 4.0 in digital transformation era: a comprehensive review and future research agenda. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 39(6), 1368-1384. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0206>

- Van Nguyen, T. A. V., Tucek, D., & Pham, N. T. (2023). Indicators for TQM 4.0 model. Delphi method and analytic hierarchy process (AHP) analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(1-2), 220-234. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2039062>
- Vrchota, J., Volek, T., & Novotná, M. (2019). Factors introducing industry 4.0 to SMES. *Social Sciences*, 8(5), 1-10. <http://dx.doi.org/10.3390/socsci8050130>
- Watson, G. H. (1998). Digital hammers and electronic nails. Tools of the next generation. *Quality Progress*, 31(7), 21-26. <https://gregoryhwatson.eu/wp-content/uploads/2021/04/14-QP-Digital-Hammers-and-Electronic-Nails-31-7-1998-Watson.pdf>
- Ynzunza, C. B., Izar, J. M., Bocarando, J. G., Aguilar, F., & Larios, M. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica*, (54). <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf>
- Zonnenshain, A., & Kenett, R. S. (2020). Quality 4.0: the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, 32(4), 614-626. <https://doi.org/10.1080/08982112.2019.1706744>
- Zulfiqar, M., Antony, J., Swarnakar, V., Sony, M., Jayaraman, R. & McDermott, O. (2023). A readiness assessment of Quality 4.0 in packaging companies: an empirical investigation, *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(11-12), 1334-1352. <https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2170223>
- Zulqarnain, A., Wasif, M., Iqbal, S. A. (2022). Developing a quality 4.0 implementation framework and evaluating the maturity levels of industries in developing countries. *Sustainability*, 14(18), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su141811298>

