El inicio de una nueva etapa: La calidad 4.0

The beginning of a new stage: Quality 4.0

Yazmín Hernández Chávez* • Gerardo Hernández Chávez
Universidad Politécnica de Tlaxcala

Recepción: 19 de enero de 2023; aprobación: 20 de febrero de 2023.
Disponible en línea: abril de 2024.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo exponer en qué consiste la nueva etapa de la calidad 4.0. Para tal efecto, se establecieron tres preguntas de investigación que guiaron la discusión documental del tema. Para responder a las interrogantes planteadas, se consultaron bases de datos como EBSCO host, Emerald y Google Académico. El principal hallazgo es el aprovechamiento de las tecnologías de la industria 4.0 a la calidad. Además, la calidad 4.0 es un concepto reciente; en consecuencia, no existe una definición universalmente aceptada y destacan ocho elementos para la implementación exitosa de la calidad 4.0 en las organizaciones. Uno de los beneficios de la calidad 4.0 es que facilita la toma de decisiones al obtener datos en tiempo real, por lo que la calidad actualmente está transitando de un paradigma preventivo a uno predictivo.

Palabras clave: *industria 4.0, calidad 4.0, gestión de la calidad.*

Abstract

This article aims to explain what the new stage of quality 4.0 consists of. For this purpose, three research questions were established that guided the documentary discussion of the topic. To answer the questions raised, databases such as EBSCO host, Emerald and Google Scholar were consulted. The main finding is the use of Industry 4.0 technologies for quality; in addition, Quality 4.0 is a recent concept, consequently, there is no universally accepted definition and eight elements stand out for the successful implementation of Quality 4.0 in the organizations. One of the benefits of quality 4.0 is that it facilitates decision making by obtaining data in real time, therefore, quality is currently transitioning from a preventive paradigm to a predictive one.

Keywords: *industry 4.0, quality 4.0, quality management.*

*Autor para correspondencia: yazmin.hernandez@uptlax.edu.mx
La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana
DOI: https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/gye/2023n64/Hernandez
©2023 Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Administración.
Este es un artículo *Open Access* bajo la licencia CC BY-NC-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Introducción

Las empresas que busquen mantener una posición competitiva en un entorno cada vez más demandante, cambiante y diverso deben evolucionar de forma continua, adaptando sus procesos productivos, administrativos y comerciales a las nuevas exigencias de los clientes (Omanza y Guerrero-Baena, 2021). La calidad es una cuestión de supervivencia; alcanzarla se convierte en una estrategia vital a largo plazo, por lo que significa rentabilidad, productividad y participación en el mercado, elementos que, al asociarse, representan el éxito empresarial (Hernández *et al*., 2013).

La forma en que las organizaciones gestionan sus sistemas de calidad es reflejo de la producción de los bienes y servicios. Desafortunadamente, hay empresas que se centran en cumplir los requisitos de modelos de gestión de la calidad —como la ISO 9001—, preocupadas por mejorar su imagen, en lugar de la calidad (Khourshed y Gouhar, 2023; Sánchez-Lizárraga *et al*., 2020; Rodríguez y Martínez, 2014). Si bien es cierto que presentan problemas como procesos de producción lentos, poco confiables, con sobrecostos, procesos internos y externos no interconectados y baja calidad, ello se debe regularmente a la dependencia de utilizar la experiencia y juicio subjetivo de las personas para determinar si un producto cumple o no los estándares de calidad establecidos. De la misma forma, no se encuentran actualizadas tecnológicamente de manera que les permita resolver los problemas antes expuestos (Mital *et al*., 2024; Bousdekis *et al*., 2023 Thekkoote, 2022; Sureshchandar, 2022). En consecuencia, es vital integrar a toda la cadena de valor para evitar costos y tiempos; sin embargo, aún no es claro cómo los países en vías de desarrollo —y específicamente las pequeñas y medianas empresas (pymes)— puedan aprovechar las nuevas tecnologías que ofrece la Industria 4.0 aplicadas a la calidad (Maganga y Taifa, 2023; Khourshed y Gouhar, 2023). Es preciso señalar que las pymes todavía tienen dificultades para adoptar las tecnologías de la industria 4.0 al carecer de recursos técnicos y no técnicos para asumir los retos de la actualidad (Ali y Johl, 2022; Chalarca, 2020).

Hoy en día, ha empezado a difundirse un nuevo concepto de calidad, referido a incorporar las tecnologías de la industria 4.0 a la calidad, lo cual se ha denominado calidad 4.0, un término referente al futuro de la calidad y a la excelencia organizacional dentro del contexto de la industria 4.0, caracterizado por la cuarta revolución industrial. La calidad 4.0 utiliza los avances tecnológicos de la industria 4.0 para el análisis de datos, la colaboración, la escalabilidad y la conectividad que impulsan la innovación, generando un cambio de paradigma en la fabricación y la entrega de productos y servicios (Chiarini y Kumar, 2022; Sader *et al*., 2022).

La calidad 4.0 combina métodos de calidad tradicionales con las nuevas tecnologías digitalizando sus sistemas de gestión de la calidad para lograr un rendimiento superior, una mayor excelencia operativa y una innovación óptima (Mital et al., 2024). Además, utiliza la tecnología como estrategia empresarial con la finalidad de monitorear los procesos, recopilar datos en tiempo real que permitan su análisis para predecir problemas de calidad y necesidades de mantenimiento (Zonnensshain & Kenett, 2020). Algunos investigadores se cuestionan si habrá pérdida de la participación humana en la era de la calidad 4.0; encontramos la respuesta en Antony et al. (2023) y Thekkoote (2022) y Santos et al. (2021), donde expresan todo lo contrario y sostienen que los trabajadores requerirán el desarrollo de nuevas habilidades para la operación de los nuevos sistemas y procesos inteligentes. Por lo tanto, este estudio quiere ampliar este tipo de debate, analizando la literatura actual planteando como objetivo el examinar los elementos de la calidad 4.0 para su implementación exitosa. En este sentido, esta investigación plantea las siguientes preguntas de investigación:

- PI1 ¿Cómo se relaciona la industria 4.0 con la calidad 4.0?
- PI2 ¿Cómo se define el concepto de la calidad 4.0?
- PI3 ¿Cuáles son los elementos de la calidad 4.0?

Para contestarlas, el presente documento se estructura de la siguiente manera: en la primera parte, se expone la revisión de la literatura referente a la industria 4.0 y la calidad 4.0; en la segunda, la metodología; en la tercera, los resultados y la discusión y, finalmente, las conclusiones.

Desarrollo

La industria 4.0

El término de industria 4.0 apareció por primera vez en 2011, durante la Feria de la Tecnología Industrial, en Hannover, Alemania, en referencia a la "fábrica inteligente" que comprende un cambio en la integración y organización de la cadena de valor a nivel inter e intra empresa, donde, la interconexión de los diferentes actores económicos participantes son el factor principal en la generación de valor. Evidentemente, la intercomunicación es posible a través del flujo de datos e información en tiempo real, apoyados de infraestructura virtual y procesos digitales que permiten fortalecer la toma de decisiones, lo cual resulta en la mejora de la eficiencia operativa y competitividad de la empresa (García, 2020; Demírkol y Al-futaih, 2020; Ynzunza *et al*., 2017). Sin embargo, Vrchota *et al.* (2019) destacan que las tecnologías sobre las que se construye el concepto de industria 4.0 existen desde hace tiempo y no son completamente nuevas. Por esta razón, estos autores refieren que el uso de estas tecnologías juntas posibilita la conexión del mundo físico con factores virtuales y biológicos para crear sistemas complejos que explotan las sinergias de cada elemento y aportan más valor agregado, al que podrían obtener si los elementos se usaran por separado. Es necesario aclarar que una fábrica inteligente, como afirma García (2020), implica las cinco características que a continuación se describen:

- Conectividad: incluye vinculación con los clientes y proveedores a través de datos reales, mediante sensores que permiten la colaboración entre diferentes departamentos.

- Optimización: abarca la minimización de costos asociados a la calidad y la producción con escasa interacción humana y, al mismo tiempo, con capacidad productiva predecible.

- Transparencia: incorpora métricas y herramientas en directo que permiten la toma de decisiones de forma rápida y coherente; además, vincula la demanda pronosticada de los clientes en tiempo real y facilita su seguimiento.

- Productividad: permite identificar anomalías de forma predictiva y su resolución, monitoreando los diferentes procesos en tiempo real.

- Agilidad: facilita la realización de cambios en el diseño del producto y equipos configurables en tiempo real y flexibiliza los cambios.

De esta manera, la industria 4.0— destacan Vrchota *et al*. (2019)— se basa en la integración vertical y horizontal, facilitando el flujo de la producción a lo largo de toda la cadena de valor, que puede ser física o virtual, y con la utilización de Tecnología Inteligente (TI). Por consiguiente, la industria 4.0 es una realidad y ha generado nuevos conceptos tecnológicos como en los siguientes casos: Inteligencia Artificial (IA), Producción Digital (PD), Internet de las Cosas (IC), Impresión Tridimensional (3D) y Computación Cuántica (CC), enfocados a ofrecer productos y servicios personalizados (Demírkol & Al-Futaih, 2020; Broday, 2022; Fuglsan *et al.*, 2022). Así es como la industria 4.0 ha influido en los diferentes sectores económicos y avanza en la industria en temas como la digitalización de los sistemas de información para la producción y gestión, en los sistemas de automatización y en la asociación de la fabricación con sensores en toda la cadena de suministro. Por consiguiente, el impacto esperado de implementar la industria 4.0 para las empresas, de acuerdo con García (2020), se traduce en los siguientes beneficios:

- Eficiencia en el uso de los activos a partir del uso de datos en tiempo real que facilitan la corrección, el seguimiento y la toma de decisiones.

- Detección en tiempo real de los defectos asociados al uso de materias primas, lo cual facilita la mejora de la calidad.

- Bajos costos vinculados a la predicción de inventarios y a la eficiencia, así como a la reducción en la variabilidad de los procesos.

- Seguridad y sustentabilidad que implican reducción en el número de accidentes humanos vinculados a la fatiga y a la realización de tareas repetitivas

- Aumento en la vinculación con los consumidores a través de la conectividad.

- Promoción del uso óptimo y eficiente de los procesos e insumos, reduciendo el impacto ambiental.

En definitiva, la industria 4.0 favorece la utilización de los recursos de forma más consistente, inteligente y económica, lo que permite el incremento de la eficiencia operacional al agilizar las tareas y fomentar la reducción de errores.

La relación entre industria 4.0 y la calidad 4.0

Rey *et al.* (2022) describen la calidad 4.0 como la aplicación de las tecnologías de la industria 4.0 a la calidad, a través de la digitalización, impactando principalmente en las personas y los procesos. En la opinión de Jacob (2017), la calidad 4.0 aprovecha las tecnologías de industria 4.0 para ayudar en la resolución de problemas de calidad y el desarrollo de soluciones innovadoras que impulsan a las organizaciones hacia la excelencia operativa. Algunos de los beneficios que se pueden obtener al incorporar la tecnología de la industria 4.0 a la calidad incluyen las que ayudan en la recopilación de datos en tiempo real, la integración de procesos y enfoques de gestión de la calidad, investigación y validación de riesgos de calidad, innovaciones de productos y/o servicios, ejecución de una gestión innovadora de la cadena de suministro, mantenimiento remoto y diagnóstico, manejo y análisis de una gran cantidad de datos, visualización y monitoreo remoto de procesos. Con todo esto, la calidad del servicio mejorará y se estará en la posición de proporcionar productos y servicios cada vez más personalizados (Maganga y Taifa, 2023; Dias *et al*., 2022; Javaid *et al*., 2021).

En este orden de ideas, el uso de tecnologías como robots e impresión 3D respaldan la calidad del producto para que esté libre de defectos. De modo que la parte sustancial de la calidad 4.0 se encuentra en la calidad del diseño del producto, los tiempos de entrega, los datos y la conectividad que impactarán significativamente en la satisfacción del cliente, lo cual hoy en día es fundamental en un entorno altamente competitivo, dinámico y complejo (Baran & Korkusuz, 2022; Balouei Jamkhaneh *et al.*, 2022; Salimova *et al.*, 2020).

Para finalizar, Martínez (2022) destaca que la calidad 4.0 se viene aplicando especialmente en compañías dedicadas al desarrollo de dispositivos médicos, farmacéutica, aviación y automotriz. Sin embargo, se vislumbra una expansión en más sectores, por lo que el personal que atiende aspectos de la calidad 4.0 en las empresas requerirá nuevas habilidades y conocimientos.

Definición de la calidad 4.0

La calidad ha sido un factor clave en el desarrollo de las actividades productivas del hombre, con las cuales ha solventado sus necesidades y circunstancias. La gestión de la calidad es una materia de reciente creación; halla su origen en múltiples influencias que le han precedido, producto a su vez de diversos conceptos, teorías y herramientas propuestas por diversos gurúes, como Crosby, Deming, Ishikawa y Feigenbaum.

Por otra parte, las condiciones dinámicas del mercado, el desarrollo de tecnologías disruptivas y las preferencias cambiantes de los clientes han obligado a las organizaciones a adoptar de manera continua, inteligente, robusta y dinámica mejoras en la calidad. Esto ha originado una evolución en la calidad y ha propiciado el asumir diversas definiciones, por lo que el término de calidad 4.0 es reciente en la literatura. No obstante lo anterior, si bien no existe una definición universalmente aceptada, sí hay algunas propuestas por partes de algunos investigadores que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de Calidad 4.0

Autor	Definición
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.
Sader *et al.* (2022)	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.* (2022)	Es una combinación de nuevas tecnologías, herramientas y métodos de calidad tradicionales para lograr un rendimiento superior, una mayor excelencia operativa e innovación óptima.
Liu *et al.* (2023)	Es la digitalización de la gestión de la calidad utilizando tecnologías modernas considerando la conexión, inteligencia y automatización para mejorar el desempeño en toda la cadena de valor.

Fuente: Elaboración propia, con base en los autores mencionados.

Como se observa, la calidad 4.0 está estrechamente alineada y complementada con la industria 4.0 al permitir transformar tareas tradicionales como la inspección, al incorporar sensores en la maquinaria y líneas de producción para detectar fallas en tiempo real y al mejorar la toma de decisiones con menor intervención humana debido a la disponibilidad de datos que facilitan la adopción de medidas preventivas; todo lo anterior ayuda a resolver problemas de manera oportuna optimizando la productividad de los procesos. Al mismo tiempo, reduce costos y favorece la mejora continua (Maganga y Taifa, 2022, 2023; Sony *et al*., 2021). Por consiguiente, estimula a las organizaciones a implementarla, teniendo en cuenta que la constante presión por reducir tiempos de producción y entrega hacen que la calidad 4.0 sea una herramienta muy útil (Suhaimi *et al.,* 2023; Ranjith *et al*., 2021).

Elementos para implementar la calidad 4.0

Tal como afirman Antony *et al.* (2021), son ocho los elementos clave para la implementación de la calidad 4.0 que a continuación se exponen:

1. Manejo de *Big Data*

El éxito de los programas de Gestión de la Calidad, según Sony *et al.* (2020), se basa en el proceso de recopilación de datos, análisis y toma de decisiones. Ahora, el respaldo de sensores asequibles, sistemas mejorados de adquisición de datos y sistemas de comunicación rápida en los sistemas ciberfísicos de la industria 4.0 permitirán generar una gran cantidad de datos que puede ser utilizada en la gestión de la calidad para identificar problemas de una manera más fácil. Por ejemplo, una sola máquina, en virtud de estar interconectada, generará datos respecto a sus condiciones de funcionamiento y mantenimiento y éstos se pueden utilizar en calidad 4.0 para mejorar la calidad del diseño, de la conformidad y del rendimiento de los productos y servicios (Escobar *et al*., 2021).

2. Uso de algoritmos de análisis prescriptivo para métricas de calidad

Los recientes avances de los algoritmos analíticos prescriptivos en la gestión de la calidad pueden proporcionar asistencia a la intervención humana para la toma de decisiones. Por ejemplo, estos algoritmos proporcionarán recomendaciones para la toma de decisiones sobre la calidad del diseño, la calidad de la conformidad y la calidad del rendimiento. Al mismo tiempo, estas soluciones garantizarán la intervención humana de manera asistida para contar con las mejores opciones en la solución de problemas (Sony *et al*. 2020).

3. Integración vertical, horizontal y de extremo a extremo

Una organización tiene varios subsistemas físicos e informativos. Los primeros incluyen un actuador, un sensor y un control que están integrados en varios niveles dentro del sistema de producción para crear

un sistema de fabricación flexible y reconfigurable; permiten la interconexión vertical entre la alta administración y la parte operativa. La integración horizontal permitirá que las empresas se abstengan de los intermediarios para la obtención de materiales e información, integrándolas de extremo a extremo, aunque éstas se encuentren en lugares distantes (Sony *et al*., 2020).

4. Calidad 4.0 para obtener una ventaja estratégica

Mediante el uso de tecnologías modernas de la industria 4.0, una organización puede crear productos y servicios de mejor calidad y, por lo tanto, crear una ventaja de precio-valor sobre los competidores. La calidad 4.0 desempeñará un papel importante no sólo en la entrega de dichos productos a los clientes, sino también en el seguimiento del uso del producto a largo de su ciclo de vida, lo que conducirá a un mejor diseño de productos y servicios (Sony *et al*., 2020).

5. Liderazgo para la calidad 4.0

La calidad 4.0 requiere un estilo de liderazgo que aliente, inspire y motive a los empleados para proponer cambios innovadores que permitan a la empresa obtener mejores resultados; para ello, necesita un tipo de liderazgo transformacional que se caracteriza por estimular el cambio en las personas y procesos. Además, se preocupa por el éxito del proyecto emprendido a través de una relación individualizada con sus colaboradores, la estimulación del aprendizaje de nuevos conocimientos y el fomento de una influencia positiva (Sony *et al*., 2020).

6. Formación para la calidad 4.0

Las habilidades de la calidad 4.0 necesarias serían habilidades técnicas como instalar y operar TI, etiquetas RFID y análisis de Big data. También habría un requisito de habilidades transformadoras —como la adaptabilidad, el pensamiento crítico, la creatividad— y las habilidades sociales —como el trabajo en equipo y la transferencia de conocimientos (Sony *et al.,* 2020).

7. Cultura organizacional para la calidad 4.0

La calidad 4.0 requerirá un cambio en los valores, hábitos y comportamientos en todos los niveles de la organización; con ello, fomenta una cultura de la innovación. Debido a la implementación de nuevas tecnologías, el cambio se tendrá que gestionar apoyando a los trabajadores a entender sus nuevas formas y funciones de trabajo con el fin de obtener el máximo beneficio de las recientes tecnologías disponibles y evitar su rechazo. Para ello, es recomendable procurar una buena comunicación que permita mantener informados a todos acerca de lo que se espera obtener de las tecnologías adquiridas (Días *et al*., 2022; Sony *et al*., 2020).

8. Soporte de la alta dirección para la calidad 4.0

Para una implementación exitosa de la calidad 4.0, se requiere el decidido apoyo de la alta dirección. Su liderazgo dentro de la organización es importante, pues establece roles y responsabilidades en los diferentes procesos que la integran, al definir las acciones a seguir y los recursos que permitirán conseguir los objetivos establecidos (Sony *et al*., 2020).

Análisis metodológico

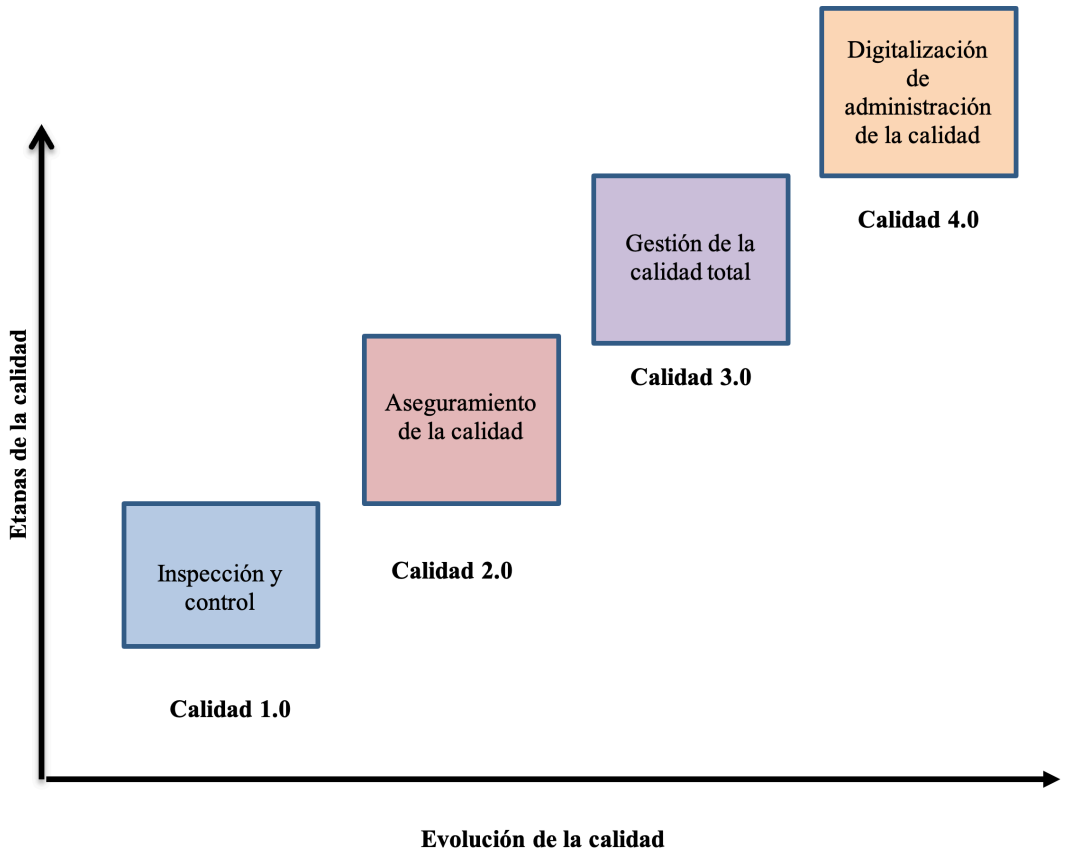
El presente artículo se funda en el análisis documental para responder a las preguntas planteadas inicialmente. Tras identificar y definir el tema, se establecieron las características de fuentes de información requeridas para la investigación: actualidad, rigor y relevancia. Se consultaron bases de datos como EBSCO *host*, Emerald y Google Académico. Con estos criterios, se seleccionaron los artículos pertinentes relacionadas a la industria 4.0 y calidad 4.0.

Resultados y discusión

Respecto a la PI1, la relación entre la industria 4.0 y la calidad 4.0 es estrecha, pues proporciona tecnologías que permiten el análisis de grandes cantidades de datos en toda la cadena de valor, al convertirlos en información útil para el monitoreo y toma de decisiones, lo cual cambia el rol de la gestión de la calidad, que pasa de preventiva a predictiva (Liu *et al*., 2023; Chiarini & Kumar, 2022, Antony *et al*., 2022).

En cuanto a la PI2, las definiciones de calidad han evolucionado según las necesidades y circunstancias del hombre, marcadas principalmente por las revoluciones industriales, hecho que ha permitido el desarrollo de conceptos, herramientas y modelos de calidad en las diferentes etapas resumidas en la figura 1.

Figura 1. El desarrollo de la calidad



Fuente: Elaboración propia.

En esta perspectiva, la revisión de las definiciones expuestas anteriormente identifica ciertas similitudes entre ellas; destaca la importancia de utilizar las nuevas tecnologías de la industria 4.0, pues impacta en procesos, personas y tecnologías. Por su parte, Sader *et al.* (2022) destacan que la calidad 4.0 es una nueva generación de la gestión de la calidad debido al avance de las tecnologías de la información, las cuales permiten la mejora en la toma de aquellas decisiones que impactan en la eficiencia de los diferentes procesos dentro de la cadena de valor. Por consiguiente, la calidad 4.0 continuará evolucionando a medida que surjan nuevas tecnologías y modelos de negocios.

Finalmente, respecto a la PI3, los elementos para la implementación exitosa de la calidad 4.0 utiliza herramientas de sistemas tradicionales de calidad apoyadas de las nuevas tecnologías, lo cual pretende que las personas sean libres de tareas repetitivas, pues de esa manera se reducen los riesgos de calidad (Días *et al.*, 2022). Sin embargo, Ali y Johl (2022) destacan los factores suaves como la cultura organizacional, el liderazgo y compromiso de la alta dirección hacia la calidad. Por otra parte, los aspectos duros como los *Big Data*, el análisis de datos e integración vertical y horizontal son claves para el éxito de la Calidad 4.0. En resumidas cuentas, las herramientas tradicionales seguirán apoyando el desarrollo de la calidad con la incorporación de las nuevas tecnologías que se incorporen para mejorar y lograr la eficiencia de los procesos y para proporcionar cada vez más productos personalizados de alta calidad.

Conclusión

En conclusión, el documento expone que la calidad 4.0 es un nuevo concepto dentro de la gestión de la calidad con enfoques, metodologías y herramientas tradicionales, que se apoyan en los avances tecnológicos de la industria 4.0. Los cambios más sobresalientes son la automatización de la inspección en productos y procesos, el análisis de datos y la integración de la cadena de valor, lo que sin duda ha originado un cambio en las prácticas de la gestión de la calidad y la adopción de un liderazgo orientado a la transformación e innovación.

Por otra parte, las organizaciones interesadas en la implementación de la calidad 4.0 deberán orientarse a desarrollar nuevas habilidades técnicas y blandas en sus colaboradores como parte importante del cambio. Por consiguiente, serán beneficiadas con la mejora de la calidad del producto, un aumento en la eficiencia productiva e incremento del servicio al cliente.

Referencias

Ali, K., y Johl, S. K. (2022). Soft and hard TQM practices: Future research agenda for industry 4.9. *Total Quality Management & Business Excellence, 33*(13-14), 1625-1655. https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1985448

Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E., y Doulatabadi, M. (2023). 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., McDemott, O., y Sony, M. (2022). 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., Sony, M., Pepper, M., Furterer, S., y McDermott, O. (2021). Quality 4.0 and its on organizational performance: An integrative viewpoint. *The TQM Journal, 34*(6), 2069-2089. https://doi.org/10.1108/TQM-08-2021-0242

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., y Korkusuz, P. T. (2022). Classification of industry 4.0 for total quality management. *A Review Sustainability, 14*(6), 1-20. https://doi.org/10.3390/su14063329

Broday, 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

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

Chalarca, G. Y., Hurtado, S. B., y Escovar, E. F. (2020). PyMES colombianas y los retos de la industria 4.0. *Revist Innova ITFIP, 7*(1), 10-17.

Chiarini, A., y 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

Dermírkol, I., y 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

Días, A. M., Carvalho, A. M., y 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

Escobar, C. A., McDovern, M. E., y Morales-Menéndez, R. (2021). Quality 4.0: A review of big data challenges in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing, 32*(8), 2319-2334. https://doi.org/10.1007/s10845-021-01765-4

Fuglsan, S., Presser, M., y 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

García, A. G. (2020). Los retos de las pymes en el contexto de la industria 4.0. En A. Martínez, M. L. Álvarez y A. García (coords.). *Industria 4.0 en México: Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas* (pp. 55-75), Plaza y Valdés Editores.

Hernández, G., Hernández, Y., y Sánchez, J. A. (2013). La estrategia de calidad como ventaja competitiva. *CIBIYT, 8*(22), 23-25.

Jacob, D. (2017). *Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook*. 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., y 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

Khourshed, N., y Gouhar, N. (2023). Developing a systematic and practical road map for implementing quality 4.0. *Quality Innovation Prosperity, 27*(2), 96-121. https://doi.org/10.12776/qip.v27i2.1859

Lui, H.C., Liu, R., Gu, X., y 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

Maganga, D. P., y Taifa, I. (2022). 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

Maganga, D. P., y Taifa, I. (2023). 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

Martínez, C. (2022). *Aproximación al concepto de calidad, evolución y futuro de la calidad*. En C. Martínez (coord.), *Modelos de calidad y su evaluación* (pp. 20-44). UNED.

Mital, A., Kumar, V., Verma, P., y 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

Omanza, M. G., y Guerrero-Baena, M. D. (2021). Gestión de calidad y crecimiento empresarial: Análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia, 26*(93), 318-333.

Paraschivescu, A. O. (2021). Quality 4.0. *Economy Transdisciplinary Cognition, 24*(2), 5-17.

Ranjith, R., Ganesh, L. S., y Rajendran, C. (2021). 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., y 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

Rodríguez, O., y Martínez, A .R. (2014). Influencia de la corrupción en la implementación de la ISO 9001. *Universia Business Review, 42*(52-67).

Sader, S., Husti, I., y 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

Salimova, T., Vatolkina, N. Makolov, V., y Anikina, N. (2020). The perspective of quality management system development in the era of industry 4.0. *Humanities & Social Reviews. 8*(4), 483-495. https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8447

Sánchez-Lizárraga, M., Limón, J., Tlapa, D., y Baez, Y. (2020). Norma ISO 9001: Un análisis exploratorio en el sector manufacturero en México. *DYNA, 87*(213), 1-22. https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.83230

Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgadavová, K., y 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., y 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., y McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: An exploratory study. *TQM Journal, 33*(6), 1502-1515. https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272

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

Suhaimi, S., Mustapha, R., y Shaik, P. (2023). Impact of organizational barriers, inefficiencies, and support on digital transformation: Perception on quality 4.0. *Global Business and Managament Research: An International Journal, 15*(2s), 101-115.

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 & Reliability Management, 39*(6), 1368-1384. https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0206

Vrchota, J., Volek, T., y Novotná, M. (2019). Factors Introducing Industry 4.0 to SMES. *Social Sciences, 8*(5), 1-10. http://dx.doi.org/10.3390/socsci8050130

Ynzunza, C. B., Izar, J. M., Bocarando, J. G., Aguilar, F., y Larios, M. (2017). El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica* (54), 1-19. https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf

Zonnenshain, A., y 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