46 FONDO EDITORIAL Revista de la Facultad de Ingeniería Junio 2024 UNIVERSIDAD DE LIMA

INGENIERÍA INDUSTRIAL



INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial
Revista de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
N.º 46, junio, 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046

DIRECTOR
Marcos Fernando Ruiz-Ruiz, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0001-5147-8512

EDITORA
María Teresa Noriega-Araníbar, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0001-6824-1415

EDITOR ASOCIADO
Edilberto Miguel Avalos Ortecho, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0003-0939-634X

© Universidad de Lima
Fondo Editorial
Av. Javier Prado Este 4600
Urb. Fundo Monterrico Chico
Santiago de Surco, Lima, Perú
Código postal 15023
Teléfono (511) 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
www.ulima.edu.pe

Edición, diseño, diagramación y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Publicación semestral

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores.

Ingeniería Industrial se encuentra registrada bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)

ISSN 2523-6326 (en línea)
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2020-08605

COMITÉ EDITORIAL

Gabriela Laura Gallardo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina
https://orcid.org/0000-0003-1426-8430

Wilfredo Román Hernández Gorritti, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0002-6122-4935

Silvia Ponce Álvarez, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0003-1583-7113

José L. Zayas-Castro, University of South Florida, Estados Unidos
https://orcid.org/0000-0001-7374-3479

Marcos Leandro Silva Oliveira, Universidad de la Costa, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-7771-5085

Hugo Romero-Bonilla, Universidad Técnica de Machala, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-7846-0512

Neyfe Sablón-Cossío, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
https://orcid.org/0000-0002-6691-0037

Marco Antonio Díaz Martínez, Tecnológico Nacional de México, México
https://orcid.org/0000-0003-1054-7088

Clara Inés Pardo Martínez, Universidad del Rosario, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-8556-319X

COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Ruth Isabel Murrugarra Munares, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile
https://orcid.org/0000-0002-7043-7983

Dr. Igor Lopes-Martínez, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba
https://orcid.org/0000-0002-1249-8833

Dra. Maria Julia Brunette, The Ohio State University, Estados Unidos
https://orcid.org/0000-0001-7932-5964

Dra. María Lau, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
https://orcid.org/0000-0001-9058-7789

Dr. Fabricio Paredes-Larroca, Universidad de Lima, Perú
https://orcid.org/0000-0001-8857-9253

Dr. Alberto Edel León, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
https://orcid.org/0000-0002-2260-3086

Dr. Alexandre Carlos Brandão Ramos, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Brasil
https://orcid.org/0000-0001-8844-5116

Dra. Martha Ruth Manrique Torres, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-3870-4965

Dr. Yonni Angel Cuero Acosta, Universidad del Rosario, Colombia
https://orcid.org/0000-0001-9565-3968

Dr. Lei Zhao, Tsinghua University, China
https://orcid.org/0000-0002-1028-9632

Dr. Iara Tammela, Universidade Federal Fluminense, Brasil
https://orcid.org/0000-0002-8914-6326

Dra. Marcela Amaro Rosales, Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Investigaciones Sociales, México
https://orcid.org/0000-0002-1647-8901

Dr. Felipe Schoemer Jardim, Fluminense Federal University, Brasil
https://orcid.org/0000-0001-9066-887X

Dr. Hector Enrique Gonzales Mora, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú
https://orcid.org/0000-0002-8455-3432

Dr. Daniel Eduardo Lazo Martinez, Curtin University, Australia
https://orcid.org/0000-0003-1757-5444

Dr. Gibrán Sayeg Sánchez, Tecnológico de Monterrey, México
https://orcid.org/0009-0009-6694-6142

Dr. Wilfredo Yushimito, Instituto Politécnico Rensselaer, Estados Unidos
https://orcid.org/0000-0002-5528-2477

Dra. Carmen Pérez-Camino, Universidad de Sevilla, España
https://orcid.org/0000-0001-7652-9582

COMITÉ EVALUADOR

Ana Almandoz Nuñez	Universidad de Lima, Lima, Perú
Felipe Barreno Herrera	Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España
Guillermo Davies Ore	Universidad de Lima, Lima, Perú
Heriberto García Reyes	Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México
Ignacio Francisco López	Universidad de Murcia, Murcia, España
Jesus Gómez Castellanos	Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Pánuco, México
Jorge García Alcaraz	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, México
José María Riola Rodríguez	Instituto Politécnico de Madrid, Madrid, España
Jose Trejo Garcia	Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México
Juan Yacono Llanos	Universidad de Lima, Lima, Perú
Marco Díaz Martínez	Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Pánuco, México
Maria Isabel Alcivar	Escuela Superior Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador
Matilde Santos Peñas	Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España
Miguel Avalos Ortecho	Universidad de Lima, Lima, Perú
Nicolas Salazar Medina	Universidad de Lima, Lima, Perú
Reina Roman Salinas	Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Pánuco, México
Teresa Garcés Cabrera	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, Santiago en los Caballeros, República Dominicana

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 9

FOREWORD 11

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT 13

Diseño de un programa preventivo para utilizar adecuadamente el equipo de protección personal con base en la NOM-017-STPS-2008 15
Elizabeth Duarte Beltrán

Análisis termográfico en extremidades superiores de varones durante una tarea repetitiva a dos ritmos de trabajo: estudio experimental 39
Miguel Ángel López-Ontiveros, Enrique Ávila-Soler, Martha Hanel Gonzalez, Jesús Loyo-Quijada

Identificación de condiciones ergonómicas del servicio de atención en las casetas de peaje de una empresa de servicio 63
Yahaira Celym Magno Ramos, Fiorella del Carmen Soto Linares

Mejora en la gestión de abastecimiento, planeamiento y control de la producción a través de las herramientas *material requirements planning* y *master production schedule* en una mype *dark kitchen* 83
Dora Antonella Celi Chavez, Nicole Ximena Mendiola Zapata, Ezilda María Cabrera Gil-Grados

CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT 105

Integración de sistemas de gestión en empresas de la industria alimentaria de Aguascalientes-México 107
Dulce Inés Castañeda Fernández, Juan Gerardo Mejía Reyes, Carmen Estela Carlos Ornelas, Daniel Castillo Corral, Héctor Manuel Reséndiz Serrano

¿Qué es la calidad 4.0? Una revisión de la literatura 129
Gerardo Hernández Chávez, Yazmín Hernández Chávez

Propuesta de economía circular para la gestión de residuos de café en cafeterías de la ciudad de Lima en Perú 151
Bertha Díaz-Garay, Giancarlo Medroa Delgado, José Antonio Taquía Gutiérrez, Juan M. Coriat Nugent

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING 175

Incremento del *net promoter score* a través de la gestión por procesos: estudio de caso en el *retail* de uniformes médicos 177
Gustavo Armando Ibañez Rodríguez

Identificación y análisis de estrategias de resiliencia del sector *retail* frente a disrupciones en la cadena de suministro 205
Gonzalo Alfredo Peña Tipian, Rafael Antonio Pinto Matta, Ezilda María Cabrera Gil-Grados

CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY 241

Capacidades tecnológicas y ventajas competitivas, análisis bibliométrico 243
Ailen Estevez Torres, Alexey Megna Alicio, Graciela Lara Gómez, Luis Rodrigo Valencia Pérez

DATOS DE LOS AUTORES 259

PRESENTACIÓN

https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.7131

Es un honor presentar a la comunidad académica el número 46 de la revista *Ingeniería Industrial* de la Universidad de Lima, en la que se abordan investigaciones que exploran aspectos diversos y relevantes desde la perspectiva de la ingeniería industrial. En esta nueva edición, se destaca la importancia de la calidad 4.0 como un nuevo paradigma que busca mejorar la toma de decisiones a través de la digitalización de procesos, así como la relevancia de las capacidades tecnológicas como ventajas competitivas en un entorno globalizado. Asimismo, se aborda la necesidad de diseñar programas preventivos para garantizar la seguridad y salud en entornos laborales, destacando la importancia de cumplir con normativas específicas para prevenir accidentes y enfermedades. Finalmente, se presenta una propuesta para la reutilización del café gastado aplicando un adecuado modelo de recojo de residuos por conglomerados en cafeterías de la ciudad de Lima en Perú.

Estos temas trascendentales reflejan la diversidad de enfoques e investigaciones en el campo de la ingeniería industrial, subrayando la importancia de la innovación, la seguridad laboral y la competitividad en un mundo en constante evolución. Este nuevo número de la revista invita a reflexionar sobre cómo esta rama del conocimiento puede contribuir al desarrollo sostenible y al bienestar de la sociedad. Quiero agradecer al equipo editorial, al comité científico de la revista, así como a los autores y revisores participantes de esta nueva edición, cuyos valiosos comentarios han contribuido significativamente a la calidad de la presente edición.

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

FOREWORD

https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.7132

It is an honor to present to the academic community the 46th issue of the Industrial Engineering Journal of the University of Lima, which addresses research exploring diverse and relevant aspects from the perspective of industrial engineering. In this new edition, we highlight the importance of Quality 4.0 as a new paradigm that seeks to improve decision-making through the digitization of processes and the relevance of technological capabilities as competitive advantages in a globalized environment. Likewise, we address the need to design preventive programs to ensure safety and health in work environments, emphasizing the importance of complying with specific regulations to prevent accidents and illnesses. Finally, a proposal is presented for the reuse of spent coffee grounds by applying an appropriate waste collection model for clusters in coffee shops in the city of Lima, Peru.

These crucial topics reflect the diversity of approaches and research in industrial engineering, underscoring the importance of innovation, workplace safety, and competitiveness in a constantly evolving world. This new issue of the journal invites reflection on how this branch of knowledge can contribute to sustainable development and the well-being of society. I want to thank the editorial team, the scientific committee of the journal, and the authors and reviewers participating in this new edition, whose valuable comments have significantly contributed to the quality of the present edition.

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN
Production Management

Diseño de un programa preventivo para utilizar adecuadamente el equipo de protección personal con base en la NOM-017-STPS-2008

Elizabeth Duarte Beltrán*
https://orcid.org/0000-0003-0365-749X
Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz
Universidad Tecnológica de la Mixteca,
Oaxaca, México

Recibido: 4 de diciembre del 2023 / Aceptado: 16 de febrero del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6787

RESUMEN. El Instituto del Seguro Social en México menciona que, durante la última década, cada año se han registrado más de 400 000 accidentes de trabajo, por lo que se ha visto necesario diseñar un programa preventivo de seguridad y salud en los laboratorios de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Para ello, se elaboró una propuesta metodológica que se dividió en seis etapas con los siguientes resultados: el 40 % sufrió una quemadura superficial de primer grado, el 60 % se ha golpeado y aplastado los dedos y manos, el 30 % presentó lesiones oculares por partículas que les causaron irritación e inflamación, el 70 % ha padecido de dolores de espalda y pies, el 60 % ha tenido alergias, el 50 % se ha tratado una cortadura menor y el 20 % ha desarrollado enfermedades profesionales. Se concluye que, con los avances tecnológicos en el área laboral, en un futuro cercano, se espera que el equipo de protección personal (EPP) convencional se sustituya por un equipo inteligente capaz de eliminar cualquier tipo de riesgo.

PALABRAS CLAVE: seguridad industrial / equipo de protección personal / reglamentos de seguridad / accidentes de trabajo

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónico: ebeltran@mixteco.utm.mx

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

DESIGN OF A PREVENTIVE PROGRAM TO PROPERLY USE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT BASED ON STANDARD-017-STPS-2008

ABSTRAC. The Social Security Institute in Mexico has recorded over 400,000 workplace accidents over the past decade. As a result, it has become necessary to design a preventive safety and health program in the laboratories of the Technological University of the Mixteca. This article presents a methodological proposal to address this necessity. Divided into six stages, it shows the following results: 40% suffered a superficial first-degree burn, 60% have hit or crushed their fingers and hands, 30% experienced eye injuries from particles causing irritation and inflammation, 70% have suffered from back and foot pain, 60% have had allergies, 50% have treated minor cuts, and 20% have developed occupational diseases. The study concludes that with technological advances in the workplace, smart equipment capable of eliminating risk should soon replace conventional personal protective equipment (PPE).

KEYWORDS: industrial safety / personal protection equipment / safety regulations / industrial accidents

1. INTRODUCCIÓN

Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2023ab), los accidentes y enfermedades causados en el trabajo tienen grandes repercusiones en la salud de los empleados y en los miembros de la familia. Con el propósito de minimizarlos, la ley obliga al empleador a garantizar las condiciones laborales de seguridad e higiene. La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2021) expuso que cada año mueren, aproximadamente, dos millones de trabajadores por accidentes, enfermedades y lesiones. Asimismo, según Xu et al. (2023), los accidentes e incidentes laborales ocurren todos los días a nivel mundial, sobre todo en industrias de transformación y de la construcción, en donde las actividades de mayor riesgo se realizan con premura.

En ese sentido, Badillo Trejo et al. (2019) destaca la importancia de preservar la vida, salud e integridad de los empleados mediante programas y procedimientos que garanticen sus derechos, tales como jornadas de ocho horas, vacaciones, licencia de maternidad, certeza laboral, salarios justos y medidas de seguridad. Al respecto, Mendizábal y Jiménez (2012) señalan la obligación del patrón para otorgar equipos de protección y servicio médico a los empleados.

Para Haslam et al. (2005), la principal prioridad de la empresa debe ser la seguridad de los empleados, lo cual, al lograrse, garantiza el éxito de la propia entidad. La existencia de un ambiente de trabajo seguro y confiable debe prevalecer todo el tiempo y no solo cuando ocurre un accidente o cuando se determinan enfermedades relacionadas con el trabajo que representen un costo.

En relación con todo lo anterior, Winge et al. (2019) analizó siete factores causales que ponen en riesgo la integridad del trabajador: (1) las acciones inseguras por falta de adiestramiento, (2) los fallos en la gestión integral de riesgos, (3) la insuficiencia para identificar, planificar y controlar los riesgos, (4) las deficiencias al proporcionar mantenimiento al equipo de protección, (5) la falta del análisis de los peligros locales, (6) el desconocimiento de las capacidades de los trabajadores y (7) la gestión de proyectos con un enfoque que minimice los riesgos. Por ejemplo, la falta de equipo de protección personal desarrolla enfermedades no transmisibles, también conocidas como enfermedades crónicas. Estas tienen la característica de tener una duración prolongada y que, cuando se adquieren, solo se controlan. Para evitarlas es necesario implementar medidas de protección y seguridad en los centros de trabajo (Camarelles, 2020).

Por todo ello, la práctica de la higiene industrial es importante. Esta se refiere a aquella ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo y que ponen en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores (OIT, 2019). La seguridad e higiene en el trabajo es la aplicación de técnicas para diagnosticar, analizar y mejorar un proceso que esté afectando la integridad

y salud de los empleados (Arellano & Rodríguez, 2013). Del mismo modo, Barragán y García (2022) mencionan la importancia de la salud ocupacional, que es la disciplina que cuida la salud física y emocional de los empleados y que tiene como propósito vigilar el entorno laboral, así como las condiciones en las que se desarrollan para mejorar su bienestar. Además, analizaron que expertos en la materia sugieren que nueve de cada diez accidentes pueden ser evitados o reducir sus efectos con el uso habituado de equipo de protección personal (Barragán & García, 2022).

Frente a lo anterior, algunas empresas han adoptado equipos de protección personal (EPP) para disminuir los riesgos a los que se exponen los trabajadores. Según Giraldo (2014), "estos dispositivos no eliminan el riesgo, pero mitigan la exposición de los peligros existentes y previenen al trabajador de los accidentes laborales para que tengan menor impacto" (p. 49). Además, para Payares (2014), el uso inadecuado del EPP puede atentar contra la salud de los empleados e intervenir en el desarrollo óptimo de las actividades laborales, lo que provocaría lesiones e incluso accidentes. Esto deterioraría la imagen de la empresa y su permanencia en el mercado.

Por su parte, D'Addario (2019) explica que los EPP son equipos y dispositivos que protegen y mitigan la exposición en los trabajadores cuando no es posible reducir el nivel de riesgo. De ello, se resalta que no eliminan los peligros, pero reducen el efecto en caso de enfermedad o de un accidente. En esa misma perspectiva, para Ammad et al. (2021), el EPP reduce y mitiga los accidentes y riesgos asociados al trabajador, pero el uso incorrecto, la negligencia del trabajador, la falta de organización y el desconocimiento de reglamentos y normas para implementar un programa de prevención en los centros de trabajo disminuyen la certeza de dicha protección.

La OIT (2016) expone que la inversión de un programa de seguridad en las empresas es mucho más rentable que permitir un deficiente sistema de seguridad y salud en el trabajo, el cual impacta en el ausentismo laboral, el tiempo de inactividad, el descenso de la motivación y moral, la pérdida de empleados calificados, el pago de indemnizaciones, el incremento de primas de seguro, multas, demandas legales, problemas sindicales, clausuras o suspensión de actividades, y las pérdidas materiales y, en el peor de los casos, humanas.

Shang y Lu (2009) afirman que la implementación de programas de prevención y capacitación en Seguridad y Salud del Trabajo (SST) siempre tiende a reducir el número de accidentes laborales. Asimismo, Barro et al. (2012) proponen un equipo de protección personal que mejore los mecanismos de prevención con dispositivos integrados en la ropa para que envíen información en tiempo real sobre el uso de EPP. De esta manera, se monitorea al trabajador con una alarma que envía señales en caso de que no lo utilice correctamente. Para Pisu et al. (2024), se deben adoptar equipos de protección personal inteligentes con tecnologías avanzadas que hagan cumplir los protocolos de seguridad.

De acuerdo con datos del Instituto Mexicano del Seguro Social, en el mercado laboral, en la última década se han registrado un promedio de 400 000 accidentes de trabajo por año; es decir, 2,2 eventos por cada 100 trabajadores (Hernández, 2022). Al respecto, Hernández (2022) estudió que los accidentes de trabajo son una consecuencia de las condiciones peligrosas en las que se encuentran las máquinas, equipos, herramientas de trabajo e instalaciones, así como por la actitud o actos inseguros de los trabajadores. Por su parte, el Instituto Mexicano del Seguro Social (2022) registró 999 254 empresas en todo el país y afilió al Seguro por Riesgo de Trabajo a un total de 19 457 040 trabajadores. En ese mismo año, se observó 34 834 casos de trabajadores con incapacidad permanente y 21 071 por riesgo de trabajo.

Frente a tal realidad, Chiavenato (2011) señala que la calidad de vida laboral es el bienestar de los colaboradores cuando desempeñan sus funciones e influye, principalmente, en la satisfacción y en el rendimiento de las actividades, y se destaca que la seguridad es la valoración más importante que se debe considerar por parte de los empresarios. Además, para Guevara (2015), prevenir los accidentes de trabajo debe ser la principal prioridad de cualquier empresa, lo que va más allá del cumplimiento de una norma. Por ello, la implementación de medidas de seguridad ayuda a mejorar las condiciones laborales, a reducir la siniestralidad y a promover la salud entre los trabajadores. En ese sentido, el uso inadecuado del EPP se podría asociar a enfermedades y lesiones, tales como caídas de altura, pérdida auditiva e inhalación de contaminantes, por lo que el patrón debería monitorear el uso del EPP, aunque se reconoce que este proceso es muy costoso (Gómez de Gabriel et al., 2022).

Entonces, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS, 2008) elaboró la NOM-017-STPS-2008, la cual contempla la selección, el uso y manejo de las EPP en los centros de trabajo. Esta norma forma parte de la categoría de organización y su aplicación es obligatoria. En caso de incumplimiento, se realizan sanciones, demandas y daños a la reputación de la empresa.

La Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), objeto de estudio de la presente investigación, tiene sede en Huajuapan de León, Oaxaca y se ha distinguido por su calidad académica. La problemática que se desarrolla en sus instalaciones es el uso inadecuado de EPP por falta de capacitación a los encargados de los laboratorios de esta institución, por lo que es necesario implementar la NOM-017-STPS-2008 para reducir los actos inseguros, accidentes y enfermedades en estas áreas.

2. METODOLOGÍA

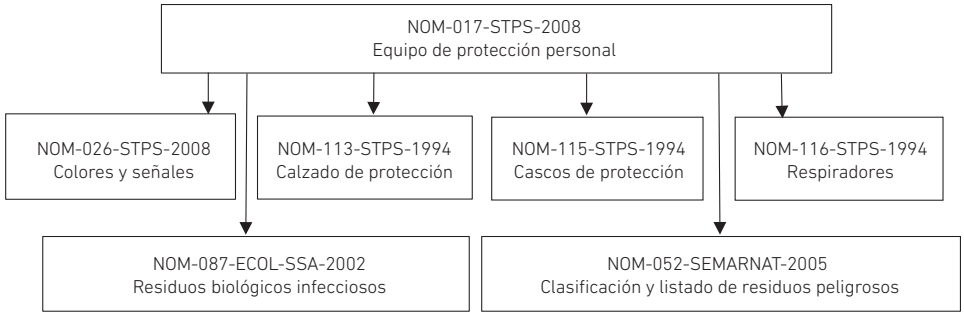
La investigación se enfoca a diagnosticar únicamente los laboratorios de la UTM que utilicen EPP por considerar que son las instalaciones de mayor riesgo. De esta forma, se propone el método cualitativo para mejorar la comprensión de las experiencias

humanas, mientras que con el método cuantitativo se permite la recolección de datos para analizarlos. Por lo anterior, el método utilizado en la presente investigación es mixto, con el apoyo de los procedimientos que sugiere la NOM-017-STPS-2008 para su correcta interpretación.

En la Figura 1 se presenta el esquema sintetizado de la NOM-017-STPS-2008 que regirá esta investigación y que hace referencia a seis normas que deben considerarse para su correcta interpretación. Además, se destaca la importancia de cuatro normas relacionadas y emitidas por la STPS (1998, 2009abc), las cuales son la 026, 113, 115 y 116. Asimismo, la norma 087 menciona el tratamiento para residuos peligroso e infecciosos y la 052 es regida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Figura 1

Esquema general de la NOM-017-STPS-2008

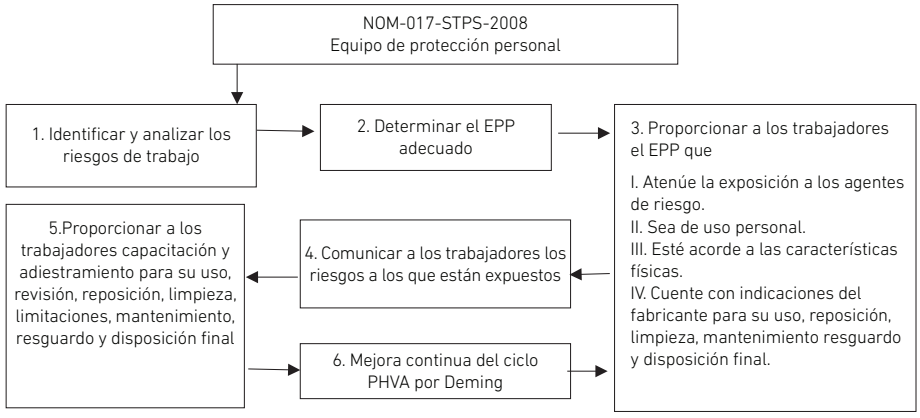


Nota. Adaptado de "Norma oficial mexicana sobre selección, uso y manejo en los centros de trabajo del equipo de protección de personal", por Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008 (https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5072773&fecha=09/12/2008#gsc.tab=0).

En la Figura 2, se expone el esquema metodológico de la NOM-017-STPS-2008. Esta se representa en seis etapas en las que se dividieron los procedimientos para esta investigación.

Figura 2

Propuesta metodológica extraída de la NOM-017-STPS-2008



Nota. Adaptado de "Norma oficial mexicana sobre selección, uso y manejo en los centros de trabajo del equipo de protección de personal", por Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008 (https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5072773&fecha=09/12/2008#gsc.tab=0).

Se analizaron un total de siete laboratorios que forman parte de la infraestructura de la universidad. Además, se aplicaron diez encuestas a trabajadores que se encuentran al mando y que fueron contratados con el propósito de salvaguardar las vidas de los estudiantes y profesores que los visitan, así como para programar el mantenimiento preventivo de la maquinaria y equipos, apoyar en las prácticas de los catedráticos, proporcionar materiales o herramientas que se requieran, vigilar el uso correcto del equipo que se encuentra bajo su resguardo, gestionar las materias primas necesarias y salidas en el almacén, vigilar que se respete el reglamento, capacitar a los estudiantes ingresantes sobre el uso y cuidado de los laboratorios, comunicar cualquier incidencia a su superior y mantener limpios y ordenados estos espacios.

Tales laboratorios son áreas de práctica que se utilizan para hacer demostraciones reales del conocimiento. Son utilizados por los profesores y estudiantes que acuden durante el curso del semestre. Para ello, se programan las prácticas con el responsable, para que tenga listo el material que utilizarán y, de esta manera, se pueda desarrollar una determinada actividad, siempre en compañía del titular de la materia.

3. RESULTADOS

Etapa 1: identificar y analizar los riesgos de trabajo

En esta etapa, se mencionan los laboratorios que se vienen analizando: (1) agroindustrias, (2) ciencias de los alimentos, (3) química, (4) tecnología avanzada de manufactura, (5)

minería, (6) bacteriología y (7) análisis fisicoquímicos de agua. En la Tabla 1 se exponen los requerimientos de la NOM-017-STPS-2008 y se describen las actividades que desarrollan los técnicos, el tipo de riesgo identificado por área, la región anatómica que debe protegerse, el puesto que desempeñan y los equipos y maquinarias que operan de mayor riesgo.

Tabla 1

Análisis de riesgos por laboratorio

Laboratorio	Actividad que desarrolla el trabajador	Tipo de riesgo de trabajo identificado	Región anatómica que se debe proteger	Puesto de trabajo	Equipos y maquinarias
1	Análisis de los alimentos y su composición física, biológica y química	Quemaduras químicas	Cabeza	Técnico	Autoclave vertical
		Parásitos	Ojos y cara		Descremadora
		Riesgo de explosión	Manos		Pasteurizadora
		Riesgo de contacto eléctrico	Aparato respiratorio		Despulpador
		Salpicaduras de productos	Tronco		Exhauster
		Vapores tóxicos	Extremidades superiores		Prensa para queso
		Alergias			Laminadora
		Resbalarse			Mezcladora de pan
		Ruido			Marmita fija
		Iluminación			Marmita con agitador
		Temperaturas abatidas como el calor			Fermentador
		Cansancio por estar de pie			Horno de panificación
		Levantamiento de bultos de más de 20 kg			Parrilla de gas
		Golpes			Molino de carne
		Machucones			Rebanadora de jamón

2	Desarrollo de nuevos productos Envasado de alimentos	Quemaduras químicas Exposición a parásitos Explosiones Salpicaduras de productos calientes Vapores tóxicos Alergias Cansancio por estar de pie Intoxicaciones	Ojos y cara Manos Aparato respiratorio Tronco Extremidades inferiores	Técnico	Incubadoras Campana de flujo centrífuga Autoclave Parrilla de dos quemadores de gas
3	Prácticas Experimentos Mezcla de reactivos Almacenaje de sustancias peligrosas Etiquetado Investigación	Quemaduras Explosiones Salpicaduras Vapores tóxicos Radiaciones Alergias Almacenamiento de sustancias químicas Intoxicaciones Cansancio por estar de pie	Ojos y cara Manos Aparato respiratorio Tronco Extremidades inferiores	Profesor investigador	Estufa de aire Mufla Fusiómetro Rotavapor Digestor Centrífuga Gerber Campana extractora Termo balanza

4	Uso de la maquinaria para cualquier trabajo sencillo o complejo que se fabrique con metales o plásticos	Proyección de partículas y fragmentos Atrapamiento entre objetos Golpes y cortes por objetos y herramientas Explosión por gas inflamable como el acetileno. Los recipientes pueden explotar Inhalación de gases tóxicos Caída de piezas Resbalones, tropiezos Exposición a sustancias nocivas Exposición al ruido Quemaduras en cuerpo y rostro Radiaciones, luz ultravioleta e infrarroja y luz visible Gases y vapores Partículas incandescentes	Ojos y cara Manos Brazos Aparato respiratorio Tronco Extremidades superiores e inferiores	Técnico	Fresadoras CNC Fresadora convencional Torno paralelo convencional Oxicortes con acetileno Esmeril Taladro vertical o de columna Sierra cinta Electroerosionadora Termo formadora Inyectora Brazo robótico Segueta eléctrica Mini tornos Impresora 3D Pantógrafo

Laboratorio	Actividad que desarrolla el trabajador	Tipo de riesgo de trabajo identificado	Región anatómica que se debe proteger	Puesto de trabajo	Equipos y maquinarias
5	Investigación aplicada Preparación de muestras de minerales para su análisis	Proyección de partículas y fragmentos Atrapamiento entre objetos Golpes y cortes por objetos y herramientas Caída de piezas Resbalones, tropiezos Exposición a sustancias nocivas Exposición al ruido	Ojos y cara Manos Brazos Aparato respiratorio Tronco Extremidades superiores e inferiores	Profesor investigador	Separador magnético Trituradora de polímeros rígido Trituradora de vidrio Trituradora de quijada para roca Pulverizador de arcillas Separador gravimétrico o por gravedad Perforadora a diamante Celda de flotación para separar minerales
6	Análisis del origen de las bacterias Investigación científica Realización de cultivos Identificación de colonias de los microorganismos de estudio	Caídas Cortes Quemaduras térmicas o químicas Intoxicaciones Enfermedades profesionales por la exposición a bacterias, virus, hongos y parásitos	Ojos y cara Manos Brazos Aparato respiratorio Tronco Extremidades superiores e inferiores	Técnico	Cámara de flujo laminar Autoclave Balanza analítica Sonicador Desionizador Agitador magnético Microcentrífuga digital Estufa de gas

7	Preparación de muestras de agua o de muestras del suelo Preparación del equipo Determinación de materia orgánica	Exposición a sustancias nocivas Gases y vapores Quemaduras en cuerpo y rostro	Ojos y cara Manos Brazos Aparato respiratorio Tronco Extremidades superiores e inferiores	Técnico	Muestreado horizontal Campana de extracción de gases Deshidratadora industrial

Se realizaron recorridos en los laboratorios con el propósito de identificar los factores de peligro y la exposición de riesgos, a través del análisis de equipos, sustancias químicas utilizadas, procedimientos y métodos empleados para la realización de las prácticas para comprender el uso detallado del EPP. En la Tabla 2 se describe el equipo de protección personal normalizado recomendable y los riesgos que minimiza.

Tabla 2

Características normalizadas del equipo de protección

EPP	Protección
NOM-115-STPS-1994 Cascos de protección Reducen el impacto de objetos que caen. Asimismo, protege de objetos fijos o por salientes de materiales con filos que pueden lastimar al trabajador.	Clase G (General). Protege de lesiones ocasionadas por descargas eléctricas hasta por 2200 voltios. Clase E (Dieléctrico). Cuenta con suspensión resistente a más de 20 000 voltios. Clase C (Conductor). Ofrece mediana protección contra impactos y no provee protección contra choques o descargas eléctricas.
NOM-113-STPS-1994 Zapatos de seguridad Minimizan lesiones en los pies por la caída de objetos, dispositivos afilados, superficies mojadas, por exposición de superficies calientes o salpicaduras de materiales fundidos y de riesgos eléctricos.	Tipo I: calzado ocupacional. Para actividades de bajo riesgo. Apropiado para un mesero, recamarera o enfermera. Tipo II: calzado con puntera de protección. Protege los dedos de impactos, se fabrica con un casco y lo utiliza personal que trabaja en un almacén o industria. Tipo III: calzado dieléctrico. Protege al usuario de un choque eléctrico. Para personal que trabaja en una subestación o área de mantenimiento que manipula la electricidad. Tipo IV: calzado con protección metatarsal. Para uso rudo, protege el empeine del pie de impactos y es de uso preferente en la industria metalmecánica.

	Tipo v: calzado conductivo. Disipa la electricidad estática del cuerpo al piso con la finalidad de evitar una posible explosión y se utiliza en la industria de solventes y pintura que son altamente inflamables. Tipo vi: calzado resistente a la penetración. Protege al usuario de clavos y objetos punzocortantes y es de uso preferente en la industria de construcción o de vidrio. Tipo vii: calzado antiestático. Similar al tipo v.
Gafas de seguridad Protegen a los ojos de astillas, salpicaduras, radiaciones, polvo, chispas calientes, arena y suciedad del ambiente.	Se clasifican por proteger al usuario contra riesgos biológico, eléctrico, mecánico, térmico y químico. Son resistentes al uso rudo y a muy altas temperaturas. Generalmente, son muy ligeras.
Orejeras y tapones para oídos Tienen la función de atenuar el ruido hasta los decibeles permisibles de 83 dB según la NOM-011-STPS-2001.	Orejeras. Se integran por dos conchas, sellan alrededor del oído y bloquean el ruido exterior. Tapones. Ofrecen protección auditiva. Funcionan como una barrera que bloquea el sonido al oído. Generalmente, son desechables y de espuma de poliuretano moldeables para introducirse en el canal auditivo.
NOM-116-STPS-1994 Respiradores purificadores de aire Protegen contra el aire contaminado por vapores, brumas, polvos, gases, humos y salpicaduras. Protegen las vías respiratorias contra contaminantes del medio ambiente.	Clase N. Respirador de media cara diseñado para ambientes que contienen partículas sin aceite. El N95 filtra al menos el 95 % de las partículas. Clase R. Retienen cualquier partícula, incluso con base de aceite. El R95 protege del 95 % de partículas de aceites. Clase P. Similar al de clase R y no tiene limitantes de tiempo.

Nota. Adaptado de "NOM-113-STPS-2009", "NOM-115-STPS-2009" y "NOM-116-STPS-2009", por Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2019abc.

La Tabla 3 proporciona la NOM-017-STPS-2008 y se utiliza para evaluar el equipo de protección que otorga el patrón al trabajador y así determinar con base en estos datos si es el correcto o si requiere que se modifique o se complemente. Para ampliar la información se puede observar la Tabla 1, la cual expone los peligros a los que está expuesto el técnico en su área de trabajo.

Tabla 3

Equipo de protección personal por puesto de trabajo

Equipo de protección personal																																			
Laboratorio	1 Cabeza					2 Ojos y cara					3 Oídos		4 Aparato respiratorio			5 Extremidad superior					6 Tronco					7 Extremidad inferior							8 Otros	
	A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	A	B	C	D	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F	A	B
1																								X										
2																								X										
3																			X					X										
4						X		X			X	X							X								X								
5						X					X													X										
6						X																		X										
7						X																		X										

Nota. Adaptado de "Norma oficial mexicana - equipo de protección de personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo", por Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008 (https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5072773&fecha=09/12/2008#gsc.tab=0).

Para una rápida comprensión de la Tabla 3, se describe lo siguiente: 2B *goggles*, 2D careta para soldar, 3B conchas acústicas, 4A respirador contra gases y vapores, 5D guantes, 6D bata y 7B calzado contra impacto. Se identifica únicamente siete equipos de protección personal que les ha brindado la institución a los técnicos de los laboratorios.

En esta etapa, se realizaron encuestas a los diez trabajadores para detectar los problemas de salud física que presentan, así como los hábitos que han adquirido en el uso de los EPP. Los resultados se exponen en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados de la encuesta

Ítem	Resultado de mayor porcentaje	Porcentaje
1. Partes del cuerpo que más se cansan	a) Manos	30
	b) Brazos	40
	c) Pies	70
	d) Espalda	70
	e) Cuello	50
	f) Hombros	50

2. ¿Ha sufrido algún incidente o accidente?	a) Sí	80
a) Sí b) No	b) No	20
3. Mencione un accidente o lesión	a) Quemadura superficial	40
	b) Golpes en dedos y manos	60
	c) Lesiones oculares	30
	d) Cortadura menor	50
	e) Alergias	60
4. ¿Recibe capacitaciones?	a) Sí	0
a) Sí b) No	b) No	100
5. ¿Cuántas veces al año le proporcionan EPP?	a) 1 vez	80
a) 1 vez b) 2 veces c) Cada vez que lo requiero	c) Cada vez que lo requiero	20
6. ¿Considera suficiente el EPP que le brinda la empresa?	a) Sí	60
a) Sí b) No	b) No	40
7. ¿Identifica las limitaciones del EPP?	a) Sí	80
a) Sí b) No	b) No	20
8. ¿Ud. le da mantenimiento a su equipo de protección personal?	a) Sí	50
a) Sí b) No	b) No	50
9. ¿Qué hace con el EPP que ya no sirve?	a) Lo regresa	0
a) Lo regresa al patrón b) Lo desecha por su cuenta	b) Lo desecha	100
10. ¿Ha desarrollado enfermedades profesionales?	a) Sí	20
a) Sí b) No	b) No	80

Por los resultados, se concluye que es necesario modificar y complementar el equipo de protección personal para estos trabajadores.

Etapa 2: determinar el equipo de protección personal

El EPP se determina en función de los riesgos a los que se encuentra expuesto el trabajador. De esta manera, se reconoce lo importante que es el capital humano para la empresa e incrementa el bienestar del colaborador, quien se integra con una mejor disposición a realizar sus actividades.

En relación con lo anterior, en la Tabla 5 se propone el equipo de protección que se considera necesario para cada integrante que tiene a su cargo un laboratorio en la universidad. Se destaca que para la selección se tomó en cuenta las características de fabricación y expedición de certificados otorgados por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, los procesos de la fabricación, la calidad y la garantía de sus materiales. Esto exhibe un reconocimiento al EPP como producto seguro y confiable.

Tabla 5

Equipo de protección personal propuesto para el uso de los técnicos

N.º	Equipo de protección personal	Características	Certificado	Proveedor
1	Tipo I: calzado ocupacional	Calzado de seguridad industrial con casco de poliamida de gran resistencia. Es ergonómico y da la comodidad de unas zapatillas.	NOM 113 STPS 2009 CIATEC	COURT Safety Line
2	Tipo IV: calzado con protección al metatarso	Con su suela dieléctrica y plantilla de poliuretano, gran comodidad y absorción de impacto certificado de calidad.	NOM 113 STPS 2009	MULTISAFE Industrial
3	Gafas de protección ocular	Con ajuste elástico ergonómico, protección contra salpicaduras y son ultraligeros.	Certificado	Amigo Safety 2021
4	Bata de laboratorio impermeable a partículas y sustancias bilógicas	Fabricada en 35 % algodón, 65 % poliéster, con recubrimiento de PTFE.	Cumple con las normas UNE	Scharlab The lab sourcing group
5	Orejera de doble cubierta (105 dB)	3M Peltor™ Optime™ 105 orejeras.	Certificado	3M ULINE. mx
6	Guantes de nitrilo resistentes a químicos	Con protección contra químicos y grasas de uso pesado.	Certificado	3M ULINE. mx
7	Respiradores contra gases y vapores con cartuchos	De clase P. Están diseñados para retener cualquier partícula.	Certificado	RANKSING
8	Pantalla facial	Con protección a los ojos y el rostro de lesiones causadas por impactos, radiación no ionizante y exposición a químicos.	Certificada	ANSI/ISEA
9	Guantes de horno resistentes a 500 °C	Con recubrimiento de nitrilo.	Certificado	Uline. mx
10	Guantes de carnaza	Para cubrir manos y antebrazo y con máxima protección contra chispas de soldadura.	Certificado	Uline.mx

Después de seleccionar el EPP certificado como lo prescribe la NOM-017-STPS-2018, se procede a analizar el control de riesgos que presenta en el ejercicio laboral. Esto quiere decir que se pone en marcha el uso del equipo informando a los trabajadores sobre los peligros específicos a los que se encuentran expuestos.

Etapa 3: proporcionar a los trabajadores el EPP que cumpla con lo estipulado en la NOM-017-STPS-2008

El equipo propuesto en la Tabla 5 tiene el propósito de satisfacer los requisitos de protección, ergonomía y calidad, acorde a las exigencias particulares de cada área, donde las funciones que desempeñan los trabajadores son propensas a la manifestación de riesgos químicos, físicos, biológicos, ergonómicos y mecánicos.

Como siguiente paso, se valoran las propiedades y nivel de protección al usuario del EPP con las siguientes características: (1) atenúa la exposición, (2) es de uso personal, (3) está a la medida de los trabajadores, (4) tiene leyendas que indiquen su limitación en la seguridad, (5) tiene la etiqueta que indica las instrucciones de uso, (6) cuenta con instrucciones de limpieza y mantenimiento, (7) cuenta con un lugar de resguardo al final de la jornada y (8) ostenta instrucciones de disposición final.

Además, según el numeral 7.1 del inciso n) de la NOM-017-STPS-2008, se establece que se debe determinar el procedimiento para desechar el EPP que ya no cumple con su función, conforme a la NOM-087-ECOL-SSA1-2002 que es un complemento de la anterior (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003). Se consideró esta recomendación para asignar un contenedor en las instalaciones de la institución para desechar el EPP que ya no cumple sus funciones.

Etapa 4: comunicar a los trabajadores los riesgos a los que están expuestos

En la Tabla 1 de este estudio, se exponen los riesgos particulares que presentan las diferentes áreas de trabajo asignadas a los técnicos. Frente a ello, las directrices de las NOM-017-STPS indican que el patrón debe comunicar esta información por escrito o por otros medios a los trabajadores cada año. Además, debe considerar la intensidad del riesgo, que será comunicado, de forma particular o general, a través de videos, carteles, trípticos, boletines, entre otros.

En este rubro, se propuso colocar carteles para cada laboratorio de la universidad, en las zonas de las máquinas y equipos de uso con mayor riesgo para resaltar la importancia y obligación del uso del EPP por parte de visitantes, estudiantes y profesores al ingreso de los laboratorios.

Etapa 5: proporcionar capacitación y adiestramiento a los trabajadores

Las normas oficiales de la STPS indican que se debe impartir capacitación a los trabajadores sobre el uso de EPP. Para ello, se cotiza el curso con un organismo especializado y autorizado para implementar y acreditar la NOM-017-STPS-2008 en la UTM, con las siguientes características:

Objetivo: Los participantes serán capaces de seleccionar el EPP adecuado para cada tarea, así como la forma correcta de usarlo y darle mantenimiento para su conservación.

Temario: (1) Marco legal de la NOM-017-STPS-2008;(2) análisis del riesgo por puesto de trabajo para la selección de uso del EPP; (3) medidas y análisis de los riesgos existentes para ojos, cara, cabeza, oídos, vías respiratorias, manos, tronco y pies; (4) características de los diferentes tipos de EPP; (5) reglas de seguridad que deben adoptar; (6) mantenimiento y conservación de EPP; (7) importancia de resguardar el EPP; (8) métodos para desechar el EPP al final de su vida útil y (9) evaluación.

Horas impartidas del curso: 18 horas.

Costo: US$ 1500.

Etapa 6: mejora continua, ciclo Deming

La Comisión Mixta de Seguridad e Higiene de la universidad es la encargada de verificar que las medidas de protección y seguridad se cumplan. Asimismo, vigila e integra un programa con recorridos que constaten que los trabajadores cumplan con las reglas establecidas en la NOM-017-STPS-2008. La norma precisa que debe revisarse este cumplimento cada dos años. Además, con la finalidad de elevar su eficiencia, se propone utilizar la herramienta de mejora continua de Deming como una estrategia de verificación.

No se puede ocultar que todo trabajo implica un riesgo. En los laboratorios de la UTM, los técnicos se han expuesto a peligros al desarrollar sus actividades, lo que ha tenido como consecuencias quemaduras, caídas, cortes en las manos, alergias, machucones, lesiones oculares, dolores de espalda y pies, entre otras. A los empleados no se les había otorgado ninguna capacitación sobre las funciones que desempañan en estos espacios, por lo que su aprendizaje ha sido el resultado de su experiencia e intuición y de errores que los han conducido a accidentes. Por fortuna no se han clasificado como graves. Del mismo modo, la falta de conocimiento sobre el equipo de protección apropiado y específico para cada laboratorio expone a los encargados y visitantes por carecer de protección adecuada. También se identificó que los técnicos con mayor tiempo de antigüedad han desarrollado enfermedades profesionales, las cuales requieren de atención medica periódica y de tratamientos de por vida. Ante este hecho, se recomienda a la institución la contratación de un médico laboral de planta para mejorar las acciones de prevención y promoción de seguridad y salud.

Por lo anterior, se considera que las capacitaciones laborales permiten desarrollar las competencias y habilidades de los empleados en sus áreas de trabajo. Por ello, primordialmente, se debe impartir información sobre el uso de equipos de protección personal para salvaguardar la vida de los recursos humanos. En ese sentido, el programa preventivo propone que se realicen estudios periódicamente a los técnicos de los laboratorios para detectar a tiempo enfermedades de trabajo que perjudican la salud y calidad de vida. Y a los responsables de comprar el EPP, se les recomienda que elijan proveedores certificados, porque ofrecen comodidad, durabilidad, confiabilidad, seguridad y una experiencia positiva en los trabajadores.

4. DISCUSIÓN

Para Ortega et al. (2017), la seguridad de los trabajadores se garantiza con el cumplimiento de las normas establecidas en el ejercicio laboral para preservar el talento humano que contribuye al desarrollo social y económico de un país. La regulación de estas normas no se cumple en muchos de los casos, lo cual vulnera los derechos laborales.

Las normas y leyes decretadas en México tienen el propósito de regular y garantizar los derechos y obligaciones de los patrones y trabajadores para un bien común: salvaguardar la salud. Ponerlas en práctica en el puesto de trabajo ayuda a guiar las conductas y acciones del capital humano ante posibles daños, peligros o riesgos que por la naturaleza de la actividad están latentes.

Rasouli et al. (2023) exponen las novedades en los equipos de protección personal inteligentes utilizados en la industria de la construcción con sensores y tecnología avanzada capaces de enviar notificaciones y de ajustarse automáticamente ante situaciones de riesgo. Por ello, hoy en día, es esencial que las empresas inviertan en equipos de protección personal inteligentes que eviten accidentes en los centros de trabajo. También es necesario considerar las maquinarias y equipos que cuentan con sensores *handsafe* para evitar accidentes y lesiones a los empleados.

Asimismo, el diseño de un programa preventivo de seguridad y salud en el trabajo, con base en una norma de la STPS, pretende asistir a los encargados de los recursos humanos por medio de métodos y procedimientos que garanticen su aplicación a corto y largo plazo. La NOM-017-STPS establece que se debe vigilar su cumplimiento por medio de recorridos de verificación y auditorías internas que garanticen el correcto uso, calidad y buen funcionamiento del EPP, así como su reposición, almacenaje y disposición final.

5. CONCLUSIONES

El programa preventivo de la NOM-017-STPS, que se implementó como medida de seguridad en los laboratorios de la UTM, sí permite reducir los accidentes en este centro

de trabajo, porque propone acciones anticipadas para evitar riesgos y enfermedades profesionales que pueden desencadenarse por falta de capacitación y conocimiento. Su metodología es una guía de procedimientos que garantiza el bienestar del trabajador.

La presente investigación ayudó a identificar las causas de los incidentes en los trabajadores de los laboratorios. De forma inmediata, se aplicaron acciones de seguridad para que se reduzcan los actos inseguros, la confianza excesiva, la negligencia de los trabajadores y el bajo nivel de habilidad de los técnicos y visitantes que utilizan maquinarias y equipos industriales sin previa capacitación (lo que significa un gran riesgo por el simple funcionamiento de las partes móviles de estas máquinas).

El costo de inversión de este plan preventivo es aproximado. Se consideró la contratación de un médico laboral por 1500 US$ como gasto mensual, la capacitación de EPP a los técnicos por 1500 US$ y la compra de EPP por 350 US$ para cada encargado de laboratorio. Para los estudios biológicos de los técnicos, se realizó un contrato con un laboratorio particular de la región.

Entonces, los gastos que debe hacer una empresa para adoptar equipos de protección personal a las necesidades de los colaboradores son necesarios. Además, deben realizarse después de buscar medidas preventivas que eliminen los riesgos eminentes en las diversas áreas de trabajo. Por ello, es muy importante capacitar y sensibilizar a los empleados sobre este tema de seguridad en los que se debe enfatizar y promover actos seguros en los centros de trabajo.

En un futuro cercano, se espera que el EPP convencional se sustituya por un equipo personal inteligente, capaz de eliminar cualquier tipo de riesgo, el desarrollo tecnológico nos ha demostrado que se puede reconocer por medio de sensores que envían señales por *bluetooth* al operario cuando reconoce un riesgo, incluso puede apagar el equipo para evitar accidentes.

6. REFERENCIAS

Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (2023a). *Derechos de los trabajadores*. https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/3473workers-rights-spanish.pdf

Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (2023b). *Todo sobre OSHA*. https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3173.pdf

Ammad, S., Salah, W., Saad, S., & Hannan, A. (2021). Personal protective equipment (PPE) usage in construction projects: a systematic review and smart PLS approach. *Ain Shams Engineering Journal,12*(4), 3495-3507. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.001

Arellano, J., & Rodríguez, R. (2013). *Salud en el trabajo y seguridad industrial*. Alfaomega.

Badillo Trejo, E., Ángeles Sandoval, C., Acevedo Morales, C., Cano Badajóz, P., & López Sandoval, M. G. (2019). Actitud de los trabajadores ante el uso de equipo de protección personal. *CuidArte, 8*(15), 56-66. https://doi.org/10.22201/fesi.23958979e.2019.8.15.69157

Barragán, H., & García, J. (2022). Seguridad y salud ocupacional en el sector industrial: un estudio de caso en México. *RECAI. Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, *12*(33), 34-44. https://doi.org/10.36677/recai.v12i33.19466

Barro, S., Fernández, T., Pérez, H., & Escudero, C. (2012). Real-time personal protective equipment monitoring system. *Computer Communications, 36*(1), 42-50. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.01.005

Camarelles, F. (2020). La prevención y la promoción de la salud en tiempos de cambio. *Atención Primaria, 52*(2), 1-2. https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.09.006

Chiavenato I. (2011). *Administración de recursos humanos. El capital humano de las organizaciones* (8.ª ed.). McGraw Hill Interamericana. https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/550fe4eb12c34ed49b9b0b6760f5a289.pdf

D'Addario, M. (2019). *Manual de Seguridad e Higiene Industrial: fundamentos, aplicaciones, infografías y cuestionarios*. CE.

Giraldo, A. (2014). *Seguridad industrial. Charlas y experiencias para un ambiente seguro*. Ecoe Ediciones.

Gómez de Gabriel, J., Fernández-Madrigal, J., Rey-Merchán, M., & López-Arquillos, A. (2022). A safety system based on bluetooth low energy (BLE) to prevent the misuse of personal protection equipment (PPE) in construction. *Safety Science, 158*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105995

Guevara, M. (2015). *La importancia de prevenir los riesgos laborales en una organización* [Tesis de licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional de la UMNG. http://hdl.handle.net/10654/6499

Haslam, R., Hide, A., Gibb, D., Gyi, T. Pavitt, S., Atkinson A., & Duff, A. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics, 36*(4), 401-415. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.12.002

Hernández, G. (2022, 28 de abril). En México hay 400 000 accidentes de trabajo cada año, ¿se pueden prevenir? *El Economista.* https://www.eleconomista.com.mx/capitalhumano/En-Mexico-hay-400000-accidentes-de-trabajo-cada-ano-se-pueden-prevenir-20220427-0094.html

Instituto Mexicano del Seguro Social. (2022). *Memoria estadística 2022. Capítulo VII. Salud en el trabajo*. Gobierno de México. https://www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2022

Mendizábal, G., & Jiménez, M. (2012). Análisis de la dignidad del trabajador en el contexto de la globalización. El ejemplo de México. *Revista Chilena de Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social*, *3*(6), 165-194. https://doi.org/10.5354/0719-7551.2012.42811

Organización Internacional del Trabajo. (2016). *Introducción al programa de la OIT: acción global para la prevención en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo*. https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/how-the-ilo-works/WCMS_495535/lang--es/index.htm

Organización Internacional del Trabajo. (2019). *Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo. Aprovechar 100 años de experiencia.* https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_686762.pdf

Organización Internacional del Trabajo. (2021, 17 de septiembre). *OMS/OIT: casi 2 millones de personas mueren cada año.* https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_819802/lang--es/index.htm

Ortega, J., Rodríguez, J., & Hernández, H. (2017). Importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos, procedimientos y funciones. *Revista Academia & Derecho*, *8*(14), 155-176. https://doi.org/10.18041/2215-8944/academia.14.1490

Payares, L. (2014). *Consecuencias del no uso de los equipos de protección personal (EPP) en los trabajadores del sector de la construcción(edificaciones)* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Buenaventura]. Repositorio Institucional de la Universidad de San Buenaventura. http://hdl.handle.net/10819/2348

Pisu, A., Elia, N., Pompianu, L., Barchi, F., Acquaviva, A., & Carta, S. (2024). Enhancing workplace safety: a flexible approach for personal protective equipment monitoring. *Expert Systems with Applications, 238.* https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122285

Rasouli, S., Alipouri, Y., & Chamanzad, S. (2023). Smart personal protective equipment (PPE) for construction safety: a literature review. *Safety Science, 170*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106368

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003, 23 de abril). *Norma oficial mexicana sobre protección ambiental - salud, ambiental - residuos peligrosos biológico-infecciosos - clasificación y especificaciones de manejo* (NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002). https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/

Programas/VIH/Leyes%20y%20normas%20y%20reglamentos/Norma%20Oficial%20Mexicana/NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002%20Proteccion%20ambiental-salud.pdf

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (1998). *Norma oficial mexicana sobre c*olores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías (NOM-026-STPS-1998). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4895881&fecha=13/10/1998#gsc.tab=0

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). *Norma oficial mexicana - equipo de protección de personal - selección, uso y manejo en los centros de trabajo* (NOM-017-STPS-2008). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5072773&fecha=09/12/2008#gsc.tab=0

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2009a, 21 de julio). *Norma oficial mexicana sobre seguridad - equipo de protección personal - respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas - especificaciones y métodos de prueba* (NOM-116-STPS-2009). https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3926/stps3/stps3.htm

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2009b, 31 de marzo). *Norma oficial mexicana sobre seguridad - equipo de protección personal - calzado de protección - clasificación, especificaciones y métodos de prueba* (NOM-113-STPS-2009). https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3924/stps1/stps1.htm

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2009c, 31 de marzo). *Norma oficial mexicana sobre seguridad - equipo de protección personal - cascos de protección - clasificación, especificaciones y métodos de prueba* (NOM-115-STPS-2009). https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3925/stps2/stps2.htm

Shang, K., & Lu, C. (2009). Effects of safety climate on perceptions of safety performance in container terminal operations. *Transport Reviews, 29*(1), 1-19. https://doi.org/10.1080/01441640802264943

Winge, S., Albrechtsen, E., & Mostue, B. A. (2019). Causal factors and connections in construction accidents. *Safety Science, 112*, 130-141. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.10.015

Xu, R., Wan, B., Soe, S., Nawaz, A., Kim, K., & Kim., H. (2023). Predictive worker safety assessment through on-site correspondence using multi-layer fuzzy logic in outdoor construction environments. *Heliyon, 9*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19408

Análisis termográfico en extremidades superiores de varones durante una tarea repetitiva a dos ritmos de trabajo: estudio experimental

Miguel Ángel López-Ontiveros
https://orcid.org/0000-0001-9377-9639
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
Departamento de Sistemas, Ciudad de México, México

Enrique Ávila-Soler*
https://orcid.org/0000-0001-8980-0925
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
Departamento de Sistemas, Ciudad de México, México

Martha Hanel Gonzalez
https://orcid.org/0009-0000-7969-4583
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
Departamento de Sistemas, Ciudad de México, México

Jesús Loyo-Quijada
https://orcid.org/0000-0002-2713-723X
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
Departamento de Sistemas, Ciudad de México, México

Recibido: 21 de febrero del 2024 / Aceptado: 18 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6977

RESUMEN. El estudio analizó el comportamiento musculoesquelético de cinco operadores mientras realizaban una tarea repetitiva en una estación experimental, con el fin de prevenir accidentes y enfermedades laborales a corto, mediano y largo plazo. Se

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: mlopez@azc.uam.mx; eas@azc.uam.mx; mhanel@azc.uam.mx; lqj@azc.uam.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).

utilizó termografía infrarroja para monitorear las temperaturas y se enfocó en áreas específicas del brazo de los cinco trabajadores. A ritmo normal, se observó mayor actividad muscular en codo, antebrazo y hombro, y con menor impacto en mano y brazo. Al aumentar el ritmo, se intensificó la actividad en mano, hombro y codo, mientras que antebrazo y brazo mostraron menor actividad. Los resultados indican que la termografía es útil para identificar niveles de actividad muscular, lo que ayudaría a prevenir lesiones. Además, se observó que los operadores aumentaron su producción de ensamblaje de piezas de la siguiente manera: 1(+64), 2(+26), 3(+62), 4(+3) y 5(+52).

PALABRAS CLAVE: termografía médica / brazos / heridas y lesiones / seguridad industrial / tareas repetitivas

THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF UPPER LIMBS OF MALES DURING A REPETITIVE TASK AT TWO WORK RHYTHMS: EXPERIMENTAL STUDY

ABSTRACT. The study analyzed the musculoskeletal behavior of five operators while performing a repetitive task at an experimental station to prevent workplace accidents and illnesses in the short, medium, and long term. It used infrared thermography to monitor temperatures, focusing on specific areas of the arm of the five workers. Workers showed greater muscle activity in the elbow, forearm, and shoulder at an average pace, with less impact on the hand and upper arm. When the pace increased, activity intensified in the hand, shoulder, and elbow, while it decreased in the forearm and upper arm. The results indicate that thermography helps identify levels of muscle activity, which could help prevent injuries. The study also showed that the operators increased their assembly production as follows: 1(+64), 2(+26), 3(+62), 4(+3), and 5(+52).

KEYWORDS: medical thermography / arm / wounds and injuries / industrial safety / repetitive Tasks

1. INTRODUCCIÓN

Las tareas repetitivas se definen como la realización continua de ciclos de trabajo similares. Además, se considera un trabajo repetitivo cuando su ciclo es menor a treinta segundos o cuando el trabajo fundamental del ciclo constituye más del 50 % de su tiempo total, independientemente de su duración (Kilbom, 1994a). Asimismo, los factores como la frecuencia y repetición de movimientos, uso de la fuerza, posturas y movimientos, así como la distribución de periodos de descanso, son factores de riesgo que caracterizan a este tipo de movimiento (Colombini, 1998).

Este tipo de tareas son desarrolladas por operarios en las líneas de ensamble y su alta repetitividad suele conducir a lesiones muscoesqueléticas en la muñeca, codo, hombro o espalda, por lo que es importante su vigilancia (Colombini, 1998; Manville et al., 2016). Estos trastornos son de los problemas globales de salud más importantes y costosos que afectan a la población trabajadora (López et al., 2014). Por ejemplo, en México, las lesiones muscoesqueléticas son de las primeras causas de morbilidad de acuerdo con estadísticas del Instituto Mexicano del Seguro Social (Das et al., 2020).

La evaluación y el estudio de las tareas repetitivas en las estaciones de trabajo son de suma importancia para prevenir o disminuir las lesiones muscoesqueléticas de los trabajadores. Por tal motivo, la prevención de estas lesiones es una alternativa para la reducción de costos por ausencias laborales, así como para la disminución de impactos sociales y económicos en la vida de los trabajadores y de las compañías (Selfe et al., 2006).

Para la evaluación de los impactos de las tareas repetitivas en los trabajadores se han desarrollado y aplicado técnicas y metodologías generales que incluyen factores ergonómicos para disminuir la probabilidad de las lesiones. Estas técnicas actúan de manera preventiva en las estaciones de trabajo, lo que mejora el desempeño de los trabajadores y la funcionalidad sus estaciones de trabajo (Ring & Ammer, 2012; Soares et al., 2020). Por otro lado, existe un conjunto de métodos comunes que evalúan la carga muscoesquelética y los riesgos de desarrollar lesiones muscoesqueléticas, los cuales determinan valores de entrada de la carga externa e interna en las distintas partes del cuerpo (Sousa et al., 2017).

Para la evaluación de tareas repetitivas en las extremidades superiores, los métodos *occupational repetitive actions* (OCRA), *strain index* (SI) y *upper limb risk assessment* (ULRA) utilizan parámetros como la duración del ciclo de trabajo, las fases del ciclo y la fuerza relativa aplicada en cada fase del ciclo (Sousa et al., 2017). Para la evaluación de tareas repetitivas en extremidades superiores, se han desarrollado protocolos de experimentación que analizan los efectos de factores de repetitividad como el ritmo de trabajo, la dificultad de los ciclos y el trabajo desarrollado en cada ciclo con el objetivo de

reducir las lesiones muscoesqueléticas (Faust et al., 2014). Otros protocolos se centran en el ciclo y la frecuencia como factores que permiten evaluar el trabajo aplicado en cada ciclo y la fuerza que aplican las extremidades superiores del cuerpo (Ng, 2009).

Por otro lado, la termografía infrarroja es una técnica no invasiva que captura imágenes térmicas para mostrar los patrones de temperatura en la piel. Se ha convertido en una herramienta vital en la medicina desde la década de 1960 que se ha utilizado para diagnosticar una variedad de condiciones médicas, como el cáncer de mama, problemas vasculares relacionados con la diabetes y trastornos musculares. Asimismo, la termografía ha podido aplicarse en el ámbito deportivo, lo que ha permitido el estudio de la termorregulación durante y después del ejercicio, y en el ámbito laboral, donde se emplea para evaluar cambios de temperatura en trabajadores que padecen lesiones o que están expuestos a esfuerzos repetitivos (Al-Nakhli et al., 2012; Bartuzi et al., 2012; Camargo et al., 2012; Dul et al., 2012; Ferreira et al., 2008; Flores-Olivares et al., 2015; Gold et al., 2004; Hollnagel, 2014; Lasanen et al., 2018; Magas et al., 2019; Merla, et al. 2010; Navidi, 2006; Ríos et al., 2011; Roman-Liu, 2014; Santos et al., 2016; Symons et al., 2015; Vardasca et al., 2012; You & Kwon, 2005; Zaproudina et al., 2006).

Los estudios han demostrado que la termografía infrarroja es capaz de identificar trastornos musculoesqueléticos y anormalidades termorreguladoras biológicas que afectan la temperatura de la piel (Camargo et al., 2012; Symons et al., 2015). También se ha utilizado para detectar fatiga, dolor muscular, estrés y esfuerzo muscular en el entorno laboral (Dul et al., 2012; Hollnagel, 2014; Roman-Liu, 2014). Además, se ha aplicado en la valoración de esfuerzos constantes, como en el seguimiento de la temperatura en la espalda baja de un baterista para modificar su estación de trabajo, o en la evaluación de posibles lesiones musculoesqueléticas en trabajadores de la industria textil (Ferreira et al., 2008; Flores-Olivares et al., 2015; Navidi, 2006). Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de los estudios se han centrado en movimientos repetitivos de extremidades superiores, especialmente en manos y muñecas, y bajo un solo ritmo de trabajo (Camargo et al., 2012; Gold et al., 2004; Navidi, 2006; You & Kwon, 2005).

Entonces, frente a todo lo anterior, la contribución del presente trabajo se centra en reconocer los cambios de temperaturas en las distintas zonas de las extremidades superiores en operarios varones al desarrollar el ensamble de piezas o tareas repetitivas con dos ritmos de trabajo, durante una hora. Esto nos permite plantear las siguientes preguntas: ¿Cuál es el comportamiento de las temperaturas en los operarios al realizar tareas repetitivas a dos ritmos de trabajo? ¿Las partes involucradas trabajan de la misma manera cuando el ritmo acelera?

En el análisis, cada operario realizó la tarea a un ritmo de trabajo normal y, posteriormente, a ritmo acelerado. Esto permitió mostrar con diferenciales la temperatura de las zonas de mayor trabajo y cuáles serían susceptibles de sufrir lesiones

musculoesqueléticas, así como el impacto del cambio de ritmo en la tarea, lo cual no es posible de evaluar a simple vista. En ese sentido, el problema en el estudio proviene de la variabilidad en las temperaturas y su efecto en las partes del brazo de los operarios cuando se enfrentan a ritmos de trabajo normal y acelerado en tareas repetitivas de ensamblaje. Esta situación se justifica por la necesidad de recabar datos para proponer elementos cruciales en la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo en relación con las condiciones laborales.

La investigación evidencia beneficios de confiabilidad y posibles oportunidades de aplicaciones en otros sectores industriales. Por ello, la importancia de la investigación se debe a que la termografía es una herramienta de alta precisión que propone un análisis innovador que genera diferentes usos, como el diagnosticar temperaturas relacionadas con sintomatologías de enfermedades e instrumento de medida en la industria.

Las implicaciones de índole industrial y gerencial en el estudio se orientan a la búsqueda de los costos totales de una organización, dado que a partir de la parte técnica se generan propuestas que previenen y predicen accidentes a causa de la fatiga y enfermedades profesionales a partir de las condiciones de trabajo, como el ritmo de trabajo, estación de trabajo, tiempo, entorno y la experiencia. En suma, los resultados del presente trabajo pueden ser de interés para determinar un método de prevención temprana de lesiones musculoesqueléticas a partir de descansos y cambios de intensidades de ritmos.

2. METODOLOGÍA

Los operarios en el estudio fueron participantes voluntarios no expertos, aleatoriamente invitados, quienes son miembros de la comunidad académica de la Universidad Autónoma Metropolitana. Participaron en la prueba cinco hombres: tres jóvenes (de 21 a 24 años) y dos adultos (de 42 a 47 años). En todos los casos hubo consentimiento informado. Previo al estudio se entrevistó a cada uno de ellos para conocer si padecían alguna lesión musculoesquelética y ninguno reportó lesiones ni problemas musculoesqueléticos. Los cinco individuos reportaron dominancia de la mano derecha.

En una reunión previa, los participantes fueron citados individualmente para mostrarles la estación de trabajo, explicarles la secuencia de la tarea, la cual fue practicada durante cinco minutos. Durante estas reuniones no se registró ningún tiempo. Antes de realizar las pruebas, los participantes se mantuvieron en reposo durante veinte minutos, tiempo estimado para estabilizar la temperatura corporal (Kilbom, 1994a). Durante las pruebas, los operarios portaron camisetas de algodón y realizaron la actividad en una estación de trabajo diseñada para que estuvieran sentados. Todo esto aseguró condiciones estandarizadas para los participantes, lo que garantizó la equidad

en el proceso de evaluación. En las entrevistas y reuniones con los participantes no se encontraron razones para considerarlos inapropiados para la prueba.

El estudio se validó con herramientas cualitativas y cuantitativas. Las primeras se utilizaron por medio del análisis conductual termográfico; las segundas, con las técnicas estadísticas de medidas de tendencia central, que son números que definen el valor alrededor, en el cual se concentran los datos y se componen de tres partes. (1) La media aritmética, que representa la suma de los números en la muestra, dividido entre la cantidad total de números que hay, también llamada promedio. (2) La varianza es la suma de los cuadrados de las distancias entre la media; y cada elemento de la población se divide entre el número total de observaciones en población. (3) La desviación estándar es una cantidad que mide el grado de dispersión en una muestra (Govindu & Babski-Reeves, 2012). Finalmente, (4) la mediana es aquella que no se ve tan afectada por valores extremos o distribuciones no normales. Además, ofrece una estimación más confiable de la tendencia central en muestras reducidas, lo que asegura resultados más sólidos y confiables en el análisis estadístico.

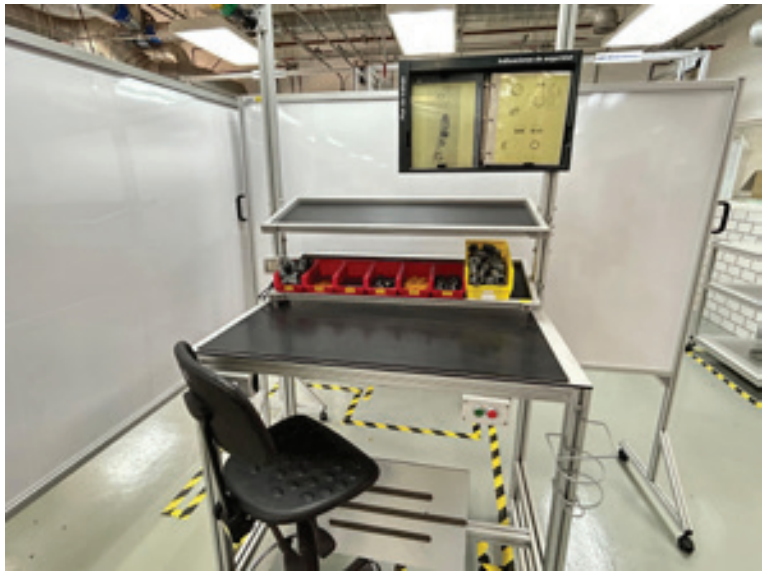
Además, dada la pequeña muestra y las posibles limitaciones relacionadas, se complementó el análisis estadístico con enfoques adicionales tanto cualitativos como cuantitativos. Por ejemplo, se empleó el análisis conductual termográfico mencionado, lo que proporcionó una comprensión más completa de los datos y ayudó a compensar las limitaciones asociadas al tamaño de la muestra en nuestro análisis estadístico.

Las unidades manejadas en este estudio fueron deltas, debido a que permiten representar las variaciones, incrementos y decrementos en las partes del brazo de manera clara y precisa. El uso de tal unidad de medida simplifica la identificación y comprensión de los cambios observados y mejora la interpretación de los resultados.

La ejecución de la tarea se realizó en una estación de trabajo como se muestra en la Figura 1. La estación estuvo configurada por una mesa de trabajo de 110 x 65,5 cm^2 con un descanso para los pies, dos entrepaños frontales con cinco contenedores de plástico de 17 x 12 cm^2, una silla de trabajo giratoria, con capacidad para ajustar la altura del asiento e inclinación del respaldo, lo que permitió brindar una mayor comodidad a los participantes. Las pruebas se desarrollaron a una temperatura de 17 ^{o}C con una humedad de 34 % HR. El área donde se instaló la estación de trabajo estaba aislada de corrientes aire y de cambios bruscos de temperatura.

Figura 1

Estación de trabajo experimental



El registro de temperatura empleó una cámara termográfica FLIR de la serie E40 con certificado de calibración de origen. El rango de temperatura fue de 20 °C a 650 °C, la sensibilidad térmica fue menor a 0,07 °C a 25 °C, la resolución (IR) fue de 160 x 120, la frecuencia de imagen fue de 60 Hz, el rango espectral fue de 7,5 a 13 µm y se utilizó un cronómetro. El *software* utilizado para el análisis de datos fue el FLIR Quick Report Version 1,2. Un termómetro digital con sensor de temperatura, tuvo como rango de temperatura externa de -50 °C a 90 °C y humedad de 10 % a 99 % no condensada.

El conector eléctrico (Ce) hermético utilizado en el protocolo de experimentación es de la marca comercial Volteck, el cual es curvo de 90° y de 3/4 de pulgada de diámetro, fabricado en material zamak, con certificado de calidad UL 514B. El peso aproximado ensamblado es de 100 gr y está compuesto por seis partes: (1) codo con rosca externa triangular en ambos extremos, (2) arandela de plástico, (3) tuerca metálica delgada, (4) capucha metálica, (5) capucha plástica y (6) tuerca metálica gruesa (véase la Figura 2). Asimismo, la secuencia del armado del conector comprende cinco elementos, los cuales se exponen en los siguientes tipos de ensambles: (1) arandela de plástico, (2) tuerca metálica delgada, (3) capucha metálica, (4) capucha de plástico y (5) tuerca metálica gruesa (véase la Figura 2).

Figura 2

Ensamble del conector eléctrico



El protocolo de experimentación se realizó en el Centro Integral de Formación e Investigación de Ingeniería Industrial (CIFIII) de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Las condiciones ambientales del estudio fueron en una temperatura ambiente de 23,2 °C, con una humedad de 49 % y con iluminación artificial

Los operadores realizaron el ensamble del Ce durante una hora a un ritmo normal y acelerado en momentos distintos. En cada una de estas pruebas, se tomaron las imágenes termográficas antes de iniciar la tarea repetitiva, desde el minuto 0 e iniciada la tarea en los minutos 15, 30, 45 y 60 para la parte frontal y trasera de ambos brazos. En este sentido, para los brazos, se midieron temperaturas en las cuatro zonas siguientes: (1) derecha frontal, (2) derecha trasera, (3) izquierda frontal e (4) izquierda trasera (véanse las figuras 3 y 4).

Figura 3

Temperatura brazo derecho frontal

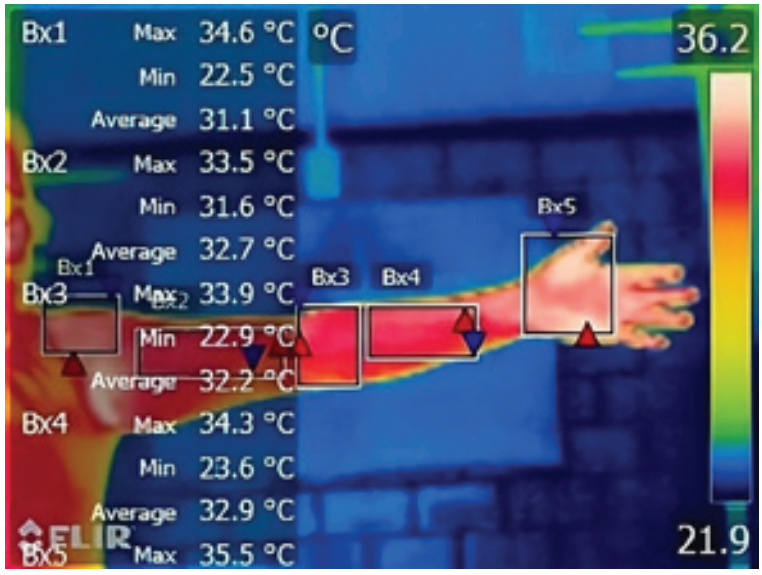
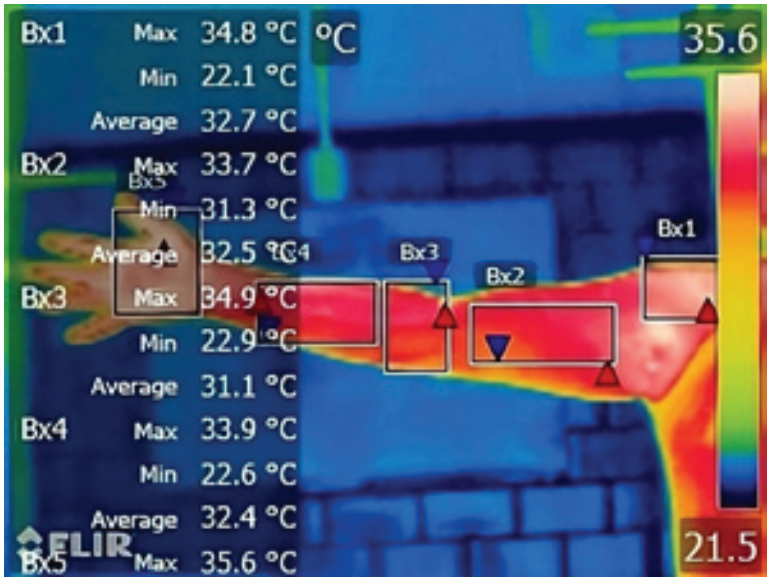


Figura 4

Temperatura brazo derecho trasera



En estas cinco zonas se monitorearon las temperaturas de las siguientes partes: hombro, brazo, codo, antebrazo y mano. Posteriormente, se calcularon las deltas de la temperatura para cada una de estas partes con base en la temperatura de la fotografía tomada en el momento antes de iniciar las tareas repetitivas y las temperaturas registradas en la fotografía en el minuto 60, cuando el operario realizó el esfuerzo más prolongado.

El cálculo las deltas de temperatura (Dt) de las partes del brazo se obtuvieron con la ecuación 1:

$$\text{Delta} = \text{Temperatura}_{(\text{minuto 60})} - \text{Temperatura}_{(\text{minuto 0 o inicial})} \quad (1)$$

Donde:

t: temperatura de parte del brazo a medir.

Lo siguiente es graficar cada una de las partes del brazo con el propósito de deducir los compartimento visuales crecientes o decrecientes considerando lados, posición y ritmo de trabajo. Esta información define el resultado; sin embargo, es necesario poder aplicar herramientas adicionales, como la estadística, en las siguientes etapas: la media (Me), mediana (Med), varianza (Va) y desviación estándar (De). Además, se deben contrastar los cambios en las partes del brazo con respecto al ritmo de trabajo, así como comparar estas variaciones contra diferentes métodos en términos porcentuales (véanse las ecuaciones 2-5).

El valor de la Me se calcula con la ecuación 2.

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \quad (2)$$

Donde:

Me: Promedio de las muestras

X_1, ... X_n: Una muestra

n: Número de datos

Por otro lado, el valor de la Med se calcula con la ecuación 3:

$$Med = \frac{(n+1)}{2} \quad (3)$$

Asimismo, la Va se calcula con la ecuación 4:

$$S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + \ldots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n \quad 1} \quad (4)$$

Donde:

S^2: Es la Va, la media

X_1, X_2...X_n: Es una muestra de observaciones

La De se calcula con la ecuación 5:

$$S = \sqrt{\frac{1}{1-n}\left(\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - n\bar{X}^2\right)} \text{ o } S = \sqrt{S^2} \qquad (5)$$

En el contraste de las partes de brazo al cambio de ritmo de trabajo, se tiene que identificar los cambios sufridos por la actividad en términos de las áreas específicas impactadas y en números de manera porcentual.

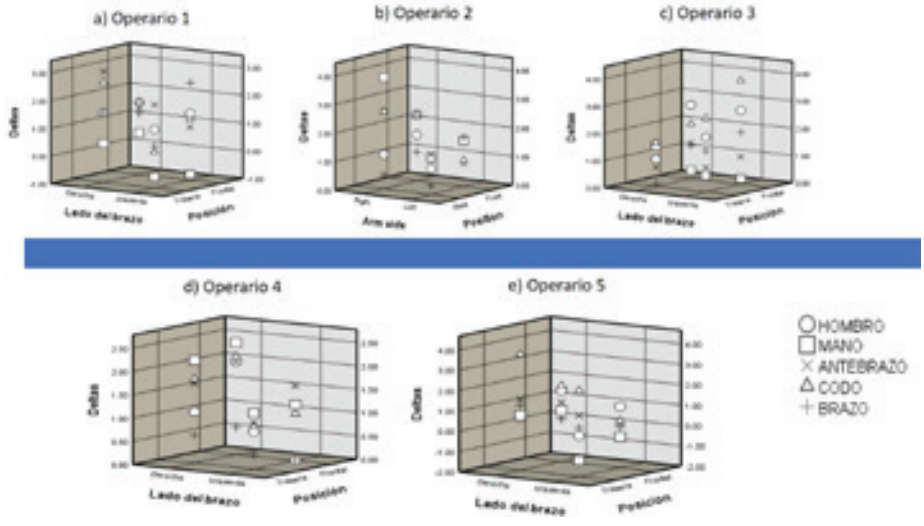
3. RESULTADOS

En términos generales, los cinco operarios sufrieron cambios de temperatura en las partes del brazo al ejecutar tareas repetitivas en los ritmos de trabajo normal y acelerado. Las zonas con Dt más significativas fueron el codo, el antebrazo y la mano. Las Dt más altas representaron el parámetro cuantitativo que definió el nivel y área de impacto. El Codo estuvo por encima de los 2 °C, el antebrazo y la mano variaron entre 1 °C y 2° C. Sobre la base de las Dt, las zonas determinadas que mayor trabajo reportaron fueron el codo y antebrazo.

Se analizaron las imágenes termográficas del ensamble a ritmo normal (RN) y se dedujo que el estudio mostró un aumento de temperatura en las zonas de los brazos y la mano de los cinco operarios. La Figura 5 detalla aspectos cualitativos y cuantitativos de las Dt en cuanto al lado y la posición del brazo.

Figura 5

Trabajo repetitivo del brazo a ritmo normal



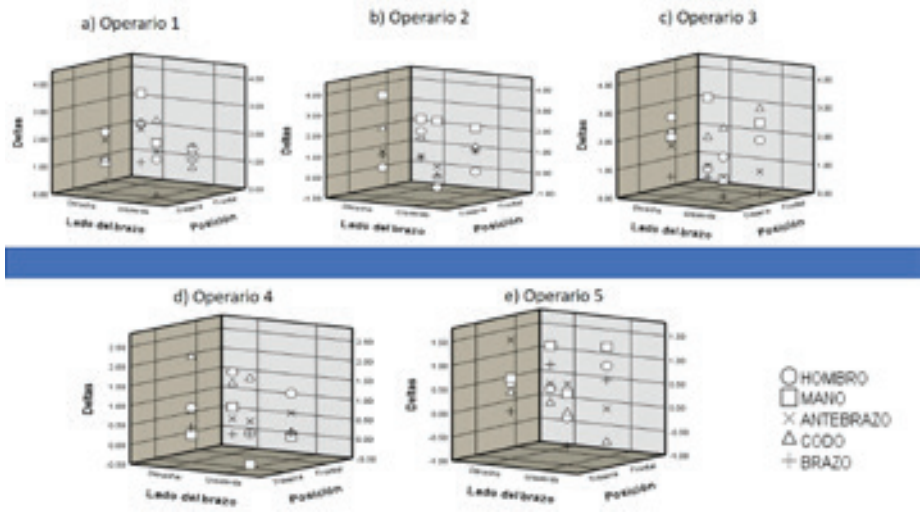
La Figura 6 define el comportamiento del ensamble a RN, por medio de cuatro zonas de las partes del brazo de cada operario y estas son las siguientes:

1. *Derecho trasero*. Las áreas más significativas fueron el codo, el antebrazo y la mano. El codo tuvo Dt por arriba de los 2 °C, el antebrazo y la mano variaron entre 1 °C y 2 °C.
2. *Izquierda trasera*. Las Dt fueron muy pequeñas, por lo que no se considera que hubo un trabajo significativo.
3. *Derecha frontal*. Las Dt más altas registradas en la mayoría de los operarios fueron en el codo con 2 °C.
4. *Izquierda frontal*. La Dt registradas no fueron significativas y los valores fueron variables entre los operarios y registraron en su mayoría entre 1 °C.

La revisión de las imágenes termográficas del ensamble a ritmo acelerado (RA) definió que el estudio mostrara un aumento de temperatura en las zonas de brazos y mano de los cinco operarios. La Figura 6 detalla aspectos cualitativos y cuantitativos de Dt, lado y posición del brazo.

Figura 6

Trabajo repetitivo a ritmo acelerado



La Figura 7 define el comportamiento del ensamble a RA por medio de cuatro zonas de las partes del brazo de cada operario y estas son las siguientes:

1. *Derecho trasero*. Las Dt más altas registradas fueron en el codo y mano con 2 °C.
2. *Izquierda trasera*. Las Dt significativas estuvieron en el codo con un aproximado de 2 °C.
3. *Derecho frontal*. Las Dt más representativas y con mayor número de operarios fueron la mano y el codo con 3 °C y 2 °C.
4. *Izquierda frontal*. La Dt significativa fue la mano con un aproximado de 2 °C.

La otra herramienta que se aplicó en esta investigación fue el análisis estadístico de medidas de tendencia central por medio de las variables Me, Med, Va y De de las partes del brazo (véase la Tabla 1).

Tabla 1

Análisis estadístico de medidas de tendencia central en unidades de deltas

Posición	FDN	FIN	TDN	TIN	FDA	FIA	TDA	TIA	Partes del brazo
	1,88	1,34	1,08	0,96	1,32	1,12	1,38	0,62	Hombro
	0,82	1,22	0,78	0,60	0,50	0,70	0,50	0,08	Brazo
Me	1,94	1,44	2,48	1,46	1,36	0,92	1,68	1,50	Codo
	1,58	0,90	1,92	1,26	0,84	0,76	1,44	0,94	Antebrazo
	1,20	0,34	1,74	0,26	2,16	1,46	1,60	1,16	Mano
	1,6	1,4	1,1	0,9	1,6	1,2	0,9	0,4	Hombro
	1,0	1,7	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	Brazo
Med	2,0	1,0	2,6	1,2	1,5	0,8	2,2	1,8	Codo
	1,4	0,9	1,7	1,0	0,6	0,8	1,5	0,7	Antebrazo
	0,5	0,2	1,5	0,6	2,4	1,3	1,1	0,8	Mano
	0,247	0,958	0,107	0,513	0,627	0,462	1,122	0,712	Hombro
	0,222	1,327	0,317	0,260	0,110	0,430	0,140	0,374	Brazo
Var	0,083	1,853	0,697	0,953	0,693	1,907	0,727	1,660	Codo
	0,317	0,250	0,872	0,208	0,448	0,223	0,203	0,188	Antebrazo
	1,110	1,088	1,953	1,238	1,373	0,893	2,140	1,683	Mano
	0,497	0,979	0,327	0,716	0,792	0,680	1,059	0,844	Hombro
	0,471	1,152	0,563	0,510	0,332	0,656	0,157	0,396	Brazo
De	0,288	1,361	0,835	0,976	0,832	1,381	0,853	1,288	Codo
	0,563	0,500	0,934	0,456	0,669	0,472	0,451	0,434	Antebrazo
	1,054	1,043	1,397	1,113	1,172	0,945	1,463	1,297	Mano

Nota. FDN: frente derecho normal. FIN: frente izquierdo normal. TDN: trasero derecho normal, TIN: trasero izquierdo normal. FDA: frente derecho acelerado. FIA: frente izquierdo acelerado. TDA: trasero derecho acelerado. TIA: trasero izquierdo acelerado.

La Tabla 1 deduce que los promedios de las Dt en las partes del brazo tienen variabilidad por las posiciones y condiciones a las que son sometidos los operarios por la repetitividad. Las Va y De de las Dt de las partes del brazo son significativamente diferentes, dado que el comportamiento de las temperaturas tiene menor dispersión respecto a la Me muestral, salvo en los casos del hombro (TIA), brazo (FIN, TIA), codo (FIN, FIA, TIA) y mano (FIN, TIN, TDA, TIA), como consecuencia de la compatibilidad entre las Me y la representatividad de los RN y RA.

En cuanto a los contrastes en las partes de brazo al cambio de ritmo de trabajo, se ha identificado que las Dt experimentan variaciones significativas debido a los cambios en el ritmo de trabajo. Estas diferencias se detallan en la Tabla 2, la cual muestra el comportamiento de las Dt al acelerar la operación en distintas partes del brazo.

Tabla 2

Comportamiento de las deltas de ritmo normal a ritmo acelerado de las partes del brazo

Posición	Lado	Disminución de la temperatura al acelerar la operación	Incremento de la temperatura al acelerar la operación
Frente	Derecho	Hombro, brazo, codo y antebrazo	Mano
	Izquierdo	Hombro, brazo, codo y antebrazo	Mano
Trasera	Derecho	Brazo, codo y antebrazo	Hombro y mano
	Izquierdo	Hombro, brazo, codo y antebrazo	Mano

En la posición frontal, la temperatura disminuye en el hombro, brazo, codo y antebrazo, mientras que aumenta en la mano. En la posición trasera, la temperatura puede disminuir en ciertas áreas del brazo y aumentar en otras, según el lado del cuerpo. Estos cambios sugieren respuestas fisiológicas y biomecánicas específicas del cuerpo humano ante la actividad física intensa o la manipulación de objetos, también a la influencia de factores individuales como la edad, las condiciones de salud de las personas y la fatiga.

En la Tabla 3, se muestra la comparación de la mediana de temperatura entre diferentes posiciones que identifican patrones térmicos que pueden indicar una mayor actividad muscular en ciertas áreas.

Tabla 3

Comparación de la mediana de la temperatura entre posiciones del brazo

Parte del brazo	Comparación FDN versus FIN	Comparación TDN versus TIN
Hombro	Mayor	Mayor
Brazo	Mayor	Igual
Codo	Mayor	Igual
Antebrazo	Igual	Igual
Mano	Igual	Mayor

Nota. FDN: frente derecho normal. FIN: frente izquierdo normal. TDN: trasero derecho normal, TIN: trasero izquierdo normal. Mayor: indica que la mediana en la posición FDN es mayor que en la posición FIN. Igual: indica que las medianas son iguales entre las dos posiciones. Menor: indica que la mediana en la posición FDN es menor que en la posición FIN.

El análisis de las medianas de temperatura muestra que hay temperaturas mayores en distintas partes del brazo entre posiciones. El hombro y el brazo registran temperaturas mayores en la posición FDN que en FIN, mientras que el codo y el antebrazo muestran poca variación entre TDN y TIN. Sin embargo, la mano presenta temperaturas mayores en TDN que en TIN. Estos resultados destacan la importancia de considerar el confort térmico en entornos laborales para asegurar condiciones adecuadas de trabajo.

Los contrastes porcentuales de las Dt en las partes del brazo cuando se cambia de RN a RA deducen que el impacto porcentual de las Dt en las partes del brazo se producirá cuando se someten el ensamble del Ce al cambio del ritmo de trabajo normal al acelerado. Estos se representan en incremento (>) y decremento (<) (véase la Tabla 4).

Tabla 4

Comportamientos porcentuales de las deltas en las partes del brazo cuando se cambia de ritmo normal a ritmo acelerado

Posición, lado, ritmo del brazo	Hombro	Brazo	Codo	Antebrazo	Mano
FDN-FDA	< 46 %	< 30 %	< 30 %	< 60 %	> 116 %
FIN-FIA	< 32 %	< 54 %	< 80 %	< 28 %	> 92 %
TDN-TDA	> 42 %	< 12 %	< 50 %	< 38 %	> 24 %
TIN-TIA	< 46 %	< 68 %	< 26 %	< 42 %	> 52 %

Nota. FDN: frente derecho normal. FIN: frente izquierdo normal. TDN: trasero derecho normal. TIN: trasero izquierdo normal. FDA: frente derecho acelerado. FIA: frente izquierdo acelerado. TDA: trasero derecho acelerado. TIA: trasero izquierdo acelerado.

En términos generales, la Tabla 4 describe la variabilidad del comportamiento de las Dt de temperatura en las áreas del brazo, consecuencia que indica que unas zonas trabajaron más que otras. En detalle, de esta se originan las siguientes cuatro resultantes en unidades porcentuales (%):

- Del FDN a FDA disminuyeron las Dt del hombro, brazo, codo y el antebrazo con 46, 30, 30 y 60 %, respectivamente. La mano incrementó en 116 %.
- Del FIN a FIA disminuyeron las Dt del hombro, brazo, codo y antebrazo con 32, 54, 80 y 28 %, respectivamente. La mano incrementó en 92 %.
- Del TDN a TDA disminuyeron Dt del brazo, codo y antebrazo con 12, 50 y 38 %, respectivamente. El hombro y la mano incrementaron en 42 y 24 %.
- Del TIN a TIA disminuyeron las Dt en el hombro, brazo, codo y antebrazo 46, 68, 26, 42 %, respectivamente. La mano incrementó en 52 %.

El incremento o decremento de las Dt en las áreas del brazo por el cambio de ritmo de trabajo generó mejoría en la productividad de los individuos 1-5. La cantidad de piezas producidas aumentó y quedó de la siguiente manera ([individuo] piezas RN - piezas RA): (1) 225-289, (2) 232-258, (3) 210-272, (4) 246-249 y (5)197-249.

4. DISCUSIÓN

El ensamble del Ce generó variabilidad en el comportamiento de las Dt en las diversas partes de brazo. Las tablas 2 y 3 determinaron que las tareas repetitivas en el proceso de ensamble del Ce originan molestias y cambios térmicos en las diversas partes del brazo de los individuos. Kilbom (1994a, p. 51) menciona que "al proporcionar asistencia en la prevención primaria y secundaria de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo repetitivo", es decir, existen tendencias hacia la prevención de factores que influyen o provocan accidentes de trabajo en el corto plazo y enfermedades laborales en el mediano y largo plazo. El autor alude a que al proporcionar asistencia en la prevención primaria y secundaria de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo repetitivo se disminuirán lesiones en los tendones, músculos y nervios del hombro, antebrazo, muñeca y mano (Kilbom, 1994a). Además, con fundamento en la estadística aplicada y los análisis termográficos y contrastes, se determinó que se generan impactos térmicos específicos de sintomatologías intensas o pasivas en las partes del brazo.

La investigación es integral e innovadora, pues si se compara con los documentos mencionados en la primera parte de este estudio, se señala que este es un análisis de todas las partes del brazo, mientras que las otras investigaciones se concentran en una o ciertas zonas especificas por estudiar. Sin embargo, tales documentos han sido una base esencial para proponer este prototipo. Por ejemplo. Govindu y Babski-Reeves (2012) aplicaron termografía para el análisis del deltoide anterior por medio de un análisis estadístico; Gold et al. (2004) analizaron la piel dorsal de la mano con termografía; Zaproudina et al. (2006) compararon la temperatura de la piel y dolor lumbar de la espalda; Garagiola y Giani (1990) aplicaron termografía en la rehabilitación de lesiones deportivas; Gold et al. (2009) aplicaron termografía para actividades cutáneas en teclado; Wang et al. (2007) aplicaron la termografía lejana y cercana para analizar el flujo sanguíneo de las venas del dorso de la mano, palma y muñeca; y De Stratul et al. (2010) aplicaron termografía para detectar tendinitis en los dentistas después de trabajos prolongados.

Por otro lado, la variabilidad de los cambios térmicos fue originada por el ritmo de trabajo y tipo de ensambles. Ante ello, Quintana y Hernandez-Masser (2003) realizaron un análisis del ensamble en tareas repetitivas y lesiones musculoesqueléticas; Kilbom et al. (1998) estudiaron las lesiones musculoesqueléticas en géneros usando el tamaño corporal, la fuerza muscular y la capacidad aeróbica, en combinación con demandas físicas excesivas; Cote et al. (2002) determinaron los trastornos musculoesqueléticos y síntomas por trabajo repetitivo; Colombini (1998) determinó los niveles de fuerza de contracción, periodo de recuperación adecuado, condición de riesgo, con la mayor discrepancia entre la situación real y la óptima; Latko et al. (1999) analizaron la repetición

del trastorno de trauma acumulativo, ergonomía, síndrome del túnel carpiano, tendinitis incomodidad; Kilbom (1994a) evaluó el riesgo (posturas extremas, falta de control, falta de habilidad, altas demandas de producción y velocidad, y monotonía) y determinó cómo influyen lo repetitivo, tiempo, fuerza, con la extremidad superior (síntomas y lesiones del sistema musculoesquelético); Kilbom (1994b) determinó cómo influyen lo repetitivo, tiempo, fuerza, con la extremidad superior (síntomas y lesiones del sistema musculoesquelético). Entonces, el aporte general del protocolo de investigación es beneficioso, porque se aplica un método y una técnica que proporcionan resultados confiables y efectivos que se validaron con otros estudios. Además, se genera cifras del comportamiento de las partes del brazo, posición y lados para los diversos usos futuros del sector industrial.

Tanto en los estudios de Govindu y Babski-Reeves (2012) como en los de Gold et al. (2004), Zaproudina et al. (2006), Garagiola y Giani (1990), Gold et al. (2009), Wang et al. (2007) y De Stratul et al. (2010), se empleó la termografía como herramienta de análisis, con el objetivo principal de analizar los efectos del trabajo repetitivo en el cuerpo humano mediante el análisis de los cambios térmicos y la identificación de áreas específicas del cuerpo que experimentan cambios de temperatura significativos durante la ejecución de las tareas repetitivas. Sin embargo, mientras que los estudios citados abarcan una variedad de temas relacionados con la salud musculoesquelética y el trabajo repetitivo, la presente investigación se ha centrado específicamente en el análisis de cambios térmicos en los brazos y manos de los operarios.

En cuanto a los detalles proporcionados, se ofrece información específica sobre las áreas del cuerpo afectadas por los cambios de temperatura y su relación con el trabajo repetitivo, mientras que los estudios citados discuten aspectos más generales de la salud musculoesquelética y los factores de riesgo laboral.

5. CONCLUSIONES

En términos generales, este estudio permitió mostrar que la termografía puede ser utilizada como una técnica no invasiva para detectar el trabajo diferencial que distintas partes del cuerpo pueden tener al desarrollar una tarea en un lapso de tiempo en condiciones distintas.

Los resultados presentados comprueban que los ritmos de velocidad de trabajo en este tipo de tarea repetitiva no tienen una influencia en todas las partes de las extremidades que se analizaron, dado que, en la investigación, se encontró que cuando se aceleraba la operación, algunos niveles de las deltas de temperatura se mantenían constantes.

Las herramientas estadísticas fueron esenciales para determinar los resultados y regiones específicos en las partes del brazo y tomar decisiones estratégicas sobre las tareas.

A los resultados de este protocolo se le podría dar continuidad para analizar y comparar el comportamiento con operarias. En este sentido, sería importante verificar si las mujeres tienen el mismo comportamiento en cuanto a las zonas del brazo con que más trabajan en una tarea repetitiva.

Otro estudio que podría ser interesante es analizar el comportamiento musculoesquelético en protocolos donde se desarrollen tareas repetitivas con fuerza. Aquí sería fundamental analizar el tiempo en el que una parte del cuerpo llega a un punto de trabajo importante.

6. REFERENCIAS

Al-Nakhli, H. H., Petrofsky, J. S., Laymon, M. S., & Berk, L. S. (2012). The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *Journal of Visualized Experiments*, *59*. https://dx.doi.org/10.3791/3551

Bartuzi, P., Roman-Liu, D., & Wiśniewski, T. (2012). The influence of fatigue on muscle temperature. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *18*(2), 233-243. https://doi.org/10.1080/10803548.2012.11076931

Camargo, C., Ordorica, J., De la Vega, E. J., Olguín, J. E., López, O. R., & López, J. A. (2012). Analysis of temperature on the surface of the wrist due to repetitive movements using sensory thermography. *Work*, *41*(1), 2569-2575. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0500-2569

Colombini, D. (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, *41*(9), 1261-1289. http://dx.doi.org/10.1080/001401398186306

Cote, H., Aparecida I., Alem, M., & Oishi J. (2002). Influence of gender on work-related musculoskeletal disorders in repetitive tasks. *International Journal of industrial Ergonomic*, *29*(1), 33-39. https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00047-6

Das, D., Kumar, A., & Sharma, M. A. (2020). A systematic review of work-related musculoskeletal disorders among handicraft workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *26*(1), 55-70. https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1458487

De Stratul, S., Rusu, D., Kulcsar, R., Argesanu, V., Ogodescu, A., & Nica, L. (2010, 1 de enero). Thermoghraphical methods in highlighting the tendinitis in dentistry. *Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM*, *21*(1), 1373-1375. https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2010/24675_Annals_5_head.pdf

Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & Van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, *55*(4), 377-395. https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087

Faust, O., Rajendra Acharya, U., Ng, E. Y. K., Hong, T. J., & Yu, W. (2014). Application of infrared thermography in computer aided diagnosis. *Infrared Physics & Technology*, *66*, 160-175. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.001

Ferreira, J., Mendonça, L., Nunes, L., Andrade, A., Rebelatto, J., & Salvini, T. (2008). Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects. *Annals of Biomedical Engineering*, *36*, 1420-1427. https://doi.org/10.1007/s10439-008-9512-1

Flores-Olivares, B., Yoguez-Seoane, A., Susarrey-Huerta, O., & Gutiérrez-Torres, C. (2015). Preliminary study on the evaluation of musculoskeletal risks through Infrared thermography for drummers. *Procedia Manufacturing*, *3*, 4415-4420. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.442

Garagiola, U., & Giani, E. (1990). Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Medicine*, *10*(4), 267-272. https://doi.org/10.2165/00007256-199010040-00005

Gold, J. E., Cherniack, M., & Buchholz, B. (2004). Infrared thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand of office workers. *European Journal of Applied Physiology*, *93*, 245-251. https://doi.org/10.1007/s00421-004-1210-6

Gold, J. E., Cherniack, M., Hanlon, A., Dennerlein, J. T., & Dropkin, J. (2009). Skin temperature in the dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *82*, 1281-1292. https://doi.org/10.1007/s00420-009-0450-5

Govindu, N. K., & Babski-Reeves, K. (2012). Reliability of thermal readings of the skin surface over the anterior deltoid during intermittent, overhead tapping tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *42*(1), 136-142. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.11.002

Hollnagel, E. (2014). Human factors/ergonomics as a systems discipline? "The human use of human beings" revisited. *Applied Ergonomics*, *45*(1), 40-44. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.024

Kilbom, Å. (1994a). Repetitive work of the upper extremity. Part I - Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *14*(1-2), 51-57. https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90005-1

Kilbom, Å. (1994b). Repetitive work of the upper extremity. Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomic*, *14* (1-2), 59-86. https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90006-X

Kilbom, Å., Messing, K., & Thorbjörnsson, C. (1998). Aches and pains-an affliction of women: work-related musculoskeletal disorders. En Kilbom, Å., Messing, K., & C. Bildt-Thorbjörnsson (Eds.), *Women's health at work* (pp. 203-227). National Institute for Working Life.

Lasanen, R., Malo, M., Airaksinen O., Karhu J., Töyräs J., & Julkunen, P. (2018). Infrared thermography reveals effect of working posture on skin temperature in office workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *24*(3), 457-463. https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1336299

Latko, W. A., Armstrong, T. J., Franzblau, A., Ulin, S. S., Werner, R. A., & Albers, J. W. (1999). Cross-sectional study of the relationship between repetitive work and the prevalence of upper limb musculoskeletal disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, *36*(2), 248-259. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199908)36:2%3C248::AID-AJIM4%3E3.0.CO;2-Q

López, B. P., González, E. L., Colunga, C., & Oliva, E. (2014). Workers postural overload assessment: literature review. *Ciencia & trabajo*, *16*(50), 111-115. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492014000200009

Magas, V., Abreu de Souza, M., Borba, E., & Nohama, Percy (2019). Evaluation of thermal imaging for the diagnosis of repetitive strain injuries of the wrist and hand joints. *Research on Biomedical Engineering*, *35*, 57-64. https://doi.org/10.1007/s42600-019-00009-y

Manville, C., El Akremi, A., Niezborala, M., & Mignonac, K. (2016). Injustice hurts, literally: the role of sleep and emotional exhaustion in the relationship between organizational justice and musculoskeletal disorders. *Human Relations*, *69*(6), 1315-1339. https://doi.org/10.1177/0018726715615927

Merla, A., Mattei, P. A., Di Donato, L., & Romani, G. L. (2010). Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. *Annals of Biomedical Engineering*, *38*, 158-163. https://doi.org/10.1007/s10439-009-9809-8

Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. Mc Graw Hill.

Ng, E. Y.-K. (2009). A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences*, *48*(5), 849-859. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015

Quintana, R., & Hernandez-Masser, V. (2003). Limiting design criteria framework for manual electronics assembly. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, *13*(2), 165-179. https://doi.org/10.1002/hfm.10033

Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement, 33*(3). https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/r33

Ríos, M. M., Chacón, E. M., Fernández, A. C., & Guillén, E. O. (2011). Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo esqueléticas. *Revista Ingeniería Industrial*, *10*(1), 55-68. https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/50/3292

Roman-Liu, D. (2014). Comparison of concepts in easy-to-use methods for MSD risk assessment. *Applied Ergonomics*, *45*(3), 420-427. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.05.010

Santos, J., Santos, B. J., Ribeiro, P., Miguel, A., Santos, R., & Vaz, M. A. (2016). The influence of task design on upper limb muscles fatigue during low-load repetitive work: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *52,* 78-91. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.09.010

Selfe, J., Hardaker, N., Thewlis, D., & Karki, A. (2006). An accurate and reliable method of thermal data analysis in thermal imaging of the anterior knee for use in cryotherapy research. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *87*(12), 1630-1635. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.08.346

Soares, A., Augusto de Paula, X., & Michaloski, A. (2020). Occupational risk evaluation through infrared thermography: development and proposal of a rapid screening tool for risk assessment arising from repetitive actions of the upper limbs. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(10). https://doi.org/10.3390/ijerph17103390

Sousa, E., Vardasca, R., Teixeira, S., Seixas, A., Mendes, J., & Costa-Ferreira, A. (2017). A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands. *Infrared Physics & Technology*, *85*, 315-323. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.07.020

Symons, F., Byiers, B., Hoch, J., Dimian, A., Barney, C., Feyma, T., & Beisang, A. (2015). Infrared thermal analysis and individual differences in skin temperature asymmetry in rett syndrome. *Pediatric Neurology*, *53*(2), 169-72. https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2015.03.018

Vardasca, R., Ring, F., Plassmann, P., & Jones, C. (2012). Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermology International*, *22*(2), 53-60. http://www.uhlen.at/thermology-international/index.php?target=220253.htm

Wang, L., Leedham, G., & Cho, Y. (2007). Infrared imaging of hand vein patterns for biometric purposes. *IET Computer Vision*, *1*(3-4), 113-122. https://doi.org/10.1049/iet-cvi:20070009

You, H., & Kwon, O. (2005). A survey of repetitiveness assessment methodologies for hand-intensive tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *35*(4), 353-360. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.07.006

Zaproudina, N., Ming, Z., & Hänninen, O. (2006). Plantar infrared thermography measurements and low back pain intensity. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, *29*(3), 219-223. https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2006.01.003

Identificación de condiciones ergonómicas del servicio de atención en las casetas de peaje de una empresa de servicio

Yahaira Celym Magno Ramos*
https://orcid.org/0009-0004-7701-933X
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Fiorella del Carmen Soto Linares
http://orcid.org/0009-0007-7995-5393
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 21 de febrero del 2024 / Aceptado: 26 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024

RESUMEN. En esta investigación, se analizó el alto índice de ausentismo por descanso médico de los agentes de recaudación de una empresa dedicada al cobro de peaje, lo que ha ocasionado gastos extras dentro de la empresa. Frente a ello, se han identificado las condiciones ergonómicas y los principales malestares musculoesqueléticos de los trabajadores, por lo que se propone un nuevo rediseño de la tarea para disminuir las afectaciones a la salud del trabajador y consecuentemente el ausentismo por descanso médico provocado por molestias en la espalda, brazos y cuello, principalmente. Para este estudio, se empleó el cuestionario nórdico, el cual nos permitió medir el malestar musculoesquelético de diferentes zonas corporales, y el método RULA, el cual nos permitió evaluar la exposición de los trabajadores a problemas ergonómicos debido a la ejecución de sus tareas e identificar las condiciones en las que laboran. Se obtuvo como resultados que la tarea presentaba importantes riesgos ergonómicos que afectaban la salud del trabajador y generaba, por consecuencia, costos extras de operación debido al ausentismo por descanso médico. Finalmente, se identificaron las necesidades

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autora corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: 20184118@aloe.ulima.edu.pe; 20184509@aloe.ulima.edu.pe

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

de mejora para los trabajadores y se mostró el rediseño de la tarea con correcciones de postura y mejoras en la silla ergonómica del agente de recaudación.

PALABRAS CLAVE: ergonomía / condiciones de trabajo / peajes / enfermedades del sistema musculoesquelético / ausentismo laboral

IDENTIFICATION OF ERGONOMIC CONDITIONS IN THE SERVICE BOOTHS OF A SERVICE COMPANY

ABSTRACT: This study investigates the high absenteeism rate due to medical leave among toll collection agents in a toll company, leading to increased operational costs. The research identifies the workers' ergonomic conditions and primary musculoskeletal complaints, proposing a task redesign to reduce absenteeism caused by back, arm, and neck discomfort. Musculoskeletal discomfort across various body regions was measured using the Nordic questionnaire, while the RULA method assessed workers' exposure to ergonomic risks associated with their tasks. Findings reveal significant ergonomic hazards impacting worker health, consequently driving up operational expenses due to medical leave-related absenteeism. The study concludes with recommendations for task improvements, including posture corrections and enhancements to the ergonomic design of the toll collection agents' chairs.

KEYWORDS: ergonomics / working conditions / tolls / musculoskeletal system diseases / work absenteeism (labor)

MEJORA EN LA GESTIÓN DE ABASTECIMIENTO, PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS HERRAMIENTAS *MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING* Y *MASTER PRODUCTION SCHEDULE* EN UNA MYPE *DARK KITCHEN*

Dora Antonella Celi Chavez*
https://orcid.org/0009-0001-5244-6384
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Nicole Ximena Mendiola Zapata
https://orcid.org/0009-0008-3703-0103
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Ezilda Maria Cabrera Gil-Grados
https://orcid.org/0000-0002-4281-4817
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 22 de enero del 2024 / Aceptado: 12 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6875

RESUMEN. Este artículo se centra en la aplicación de las herramientas *material requirements planning* (MRP) y *master production schedule* (MPS) en el proceso de la producción de hamburguesas en una *dark kitchen*, con el objetivo de reducir el costo de oportunidad generado por los productos no vendidos debido a la falta de insumos. La propuesta de mejora se dividió en dos partes. La primera se enfocó en el planeamiento y el control de la producción, mientras que la segunda parte se relacionó a un nuevo diseño de cocina.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: 20190431@aloe.ulima.edu.pe; 20191262@aloe.ulima.edu.pe; Ecabrera@ulima.edu.pe

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

Además, con el fin de diseñar un nuevo plano, se utilizó el método de Guerchet, así como el diagrama relacional de actividades. La investigación dio como resultado una reducción del 10 % de pérdida en los pedidos.

PALABRAS CLAVE: control de la producción / producción eficiente / distribución en planta / hamburguesas / Perú

IMPROVED SUPPLY MANAGEMENT, PRODUCTION PLANNING AND CONTROL THROUGH MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING AND MASTER PRODUCTION SCHEDULE TOOLS IN A MYPE DARK KITCHEN

ABSTRACT. The purpose of the research focused on the application of tools such as MRP and MPS in the hamburger process in a dark kitchen, with the objective of reducing the opportunity cost produced by unsold products due to lack of supplies. The improvement proposal was divided into two parts, the first with a focus on production planning and control and the second part, related to a new kitchen design. In addition, in order to design a new floor plan, the Guerchet method was used, as well as the relational diagram of activities. The investigation resulted in approximately 10% of additional incoming orders that could have been attended to in the month of October.

KEYWORDS: production control / lean manufacturing / plant layout / hamburgers / Peru

1. INTRODUCCIÓN

Los establecimientos de comida rápida o las *dark kitchens* se caracterizan por ser eficaces y eficientes. Estos establecimientos muchas veces suelen ser la mejor opción en el momento oportuno:

> El momento oportuno se puede tratar de un fin de semana, un día de muchas reuniones y que no existe el tiempo para cocinar o simplemente un día que es conveniente comer algo diferente. Muchas veces, resulta mucho más fácil y hasta algunas veces mucho más económico comprar una hamburguesa o unos *nuggets*, en lugar de cocinar un plato complejo los fines de semana. (Ku et al., 2020, pp. 315-316)

El sector de comida rápida en Perú es una parte importante de la industria de servicios de alimentos del país. Además, como consecuencia de la pandemia, esta industria ha crecido significativamente en los últimos años a nivel mundial (Shin & Cho, 2022). En efecto, los establecimientos de comida rápida o *dark kitchens* se han vuelto indispensables para muchos usuarios en los últimos años, pues es ideal recibir un almuerzo o cena en 25 o 30 minutos y, en muchos casos, aprovechar el tiempo para realizar actividades rutinarias o de descanso. Por ello, la demora en la entrega del producto es un factor determinante en estos casos; por eso, existe una gran competencia entre muchos de estos locales de comida rápida por atender en el menor tiempo, con eficiencia y calidad, a sus clientes (Barqawi et al., 2023, pp. 755-756).

De una alguna forma, la gestión de cadena de suministro en un establecimiento de comida rápida puede parecer "sencilla", pues se supone que se cuenta con bolsas enormes de papas, hamburguesas, *hot dogs* y otros insumos listos para freír o los panes listos para ser calentados, tal como mencionan Ku et al. (2020) y Aditi et al. (2022). Sin embargo, habría que hacer notar lo siguiente: ¿Cómo llegan las bolsas de insumos al local o establecimiento? ¿Quiénes son los proveedores de las hamburguesas y las papas? ¿La empresa cuenta con almacenes? ¿Cómo funciona el servicio de distribución de pedidos? Esas y otras preguntas forman parte del proceso de aprovisionamiento de insumos en la gestión de la cadena de suministro que, muchas veces, no se toman en consideración. Por este motivo, es importante que la empresa cuente con un punto de reorden definido según Kurdi et al. (2023) y Borsotto et al. (2023).

Adicionalmente, los restaurantes, las *dark kitchens* y otros establecimientos de comida deben estar comprometidos con el medio ambiente y analizar que el no contar con un pronóstico de la demanda o un eficiente plan de compras puede generar un gran desperdicio de alimentos, tal como sucedió en muchos restaurantes de Japón en el 2018, según mencionan Sato y Mizuyama (2022). Para solucionar ello, no solo habría que evitar el desperdicio de alimentos, sino también mejorar el aprovisionamiento de insumos y un menor porcentaje de roturas de *stock*. Para ello, se puede utilizar herramientas de

planificación de requerimientos, como el *master production schedule* (MPS) y el *material requirements planning* (MRP), según Carbajal-Roman et al. (2021) y Cozzio et al. (2023).

Con los años, las empresas se están volviendo mucho más digitales, pues utilizan diferentes herramientas o principios de la transformación digital, tales como *big data*, agilidad, innovación, etcétera. Esto significa que, ahora, existen menos posibilidades de que las empresas del rubro alimenticio trabajen con pizarras con pronósticos, pues muchas de ellas prefieren contar con un modelo de gestión en una alguna aplicación de escritorio. De igual forma, tal como mencionan Alkhawaldah et al. (2023) y Gupta et al. (2023), se debe identificar también los beneficios de la cadena de suministro digital y el desempeño organizacional con el que se cuenta.

Frente a tal contexto, la presente investigación se enfoca en una empresa peruana —específicamente, una *dark kitchen* de hamburguesas— que empezó como una idea de negocio en el 2019 y que se volvió realidad en el 2021. Actualmente, dicha empresa continúa incrementando sus ventas y creciendo de una manera sumamente veloz, lo que ha generado que el organizarse sea una tarea realmente difícil. En muchas ocasiones, la empresa no ha podido atender todos los pedidos, por lo que, según el indicador de faltantes de *stock*, tiene un 3 % de faltantes de *stock*, cuando lo ideal es que tenga un 0 % en tal indicador. Por este motivo, la investigación tiene como objetivo reducir las ventas perdidas utilizando como soporte las herramientas MRP y MPS.

2. METODOLOGÍA

El proyecto está estructurado en dos partes. La primera se enfoca en la mejora del planeamiento y control de producción de la empresa, mientras que la segunda se enfoca en un nuevo diseño de la instalación de la cocina. Para ello, el método de validación utilizado para demostrar la efectividad de la solución diseñada fue la simulación en Excel para ambas partes de la experimentación. Se eligió este método porque, a través de una prueba piloto, la obtención de resultados requeriría un plazo mayor al del alcance de este proyecto. Además, a través de dicha simulación en Excel, se evaluaron distintos modelos de gestión del abastecimiento e inventarios como alternativas de mejora para validar, finalmente, el modelo a proponer.

Con respecto a la mejora del planeamiento y control de producción, se desarrolló un modelo MRP y MPS en Excel, para el cual se determinaron ciertos parámetros adecuados a la empresa y se analizaron las ventas históricas para proponer un modelo de estimación de la demanda. De igual forma, teniendo en consideración la variabilidad que puede tener la demanda, se analizó —con @Risk— el efecto sobre el modelo propuesto de cambios de la demanda y del abastecimiento del lote mínimo de compra de la carne. De esta manera, se evaluaron los costos logísticos, los niveles de inventarios y la posibilidad de la rotura de *stock*.

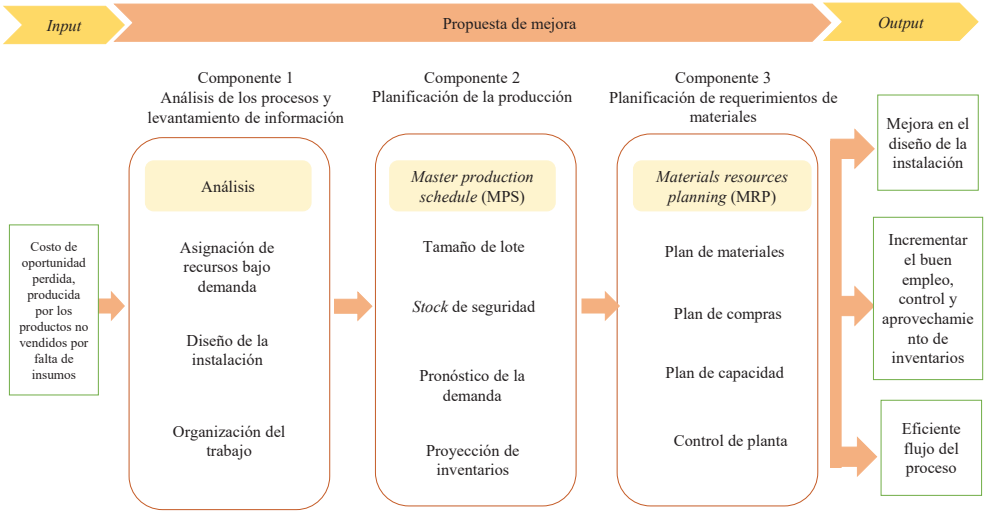
Entonces, se validó el nuevo modelo MRP y MPS con datos de la demanda histórica existente y la política actual de abastecimiento, y se observó las roturas de *stock* y demás inconvenientes que tiene la empresa con respecto al inventario de insumos, tal como se registró realmente en el periodo histórico tomado como referencia. Luego, se realizó un buen planeamiento de la demanda, considerando un proceso de compras adecuado y eficiente, utilizando el mismo modelo de MRP y MPS. Con ello, se demostró que los resultados serían mejores y positivos para el funcionamiento de la empresa.

Por otro lado, respecto a la mejora del diseño de la instalación, a través del método Guerchet y del diagrama relacional de actividades, se realizó un nuevo diseño de la cocina, con el objetivo de mejorar el flujo de materiales y el tiempo en el recorrido de la preparación de los pedidos en un mes típico. Para esta segunda parte de la experimentación, se utilizó el método de validación, con el cual se compararon los cálculos del recorrido de la preparación de los pedidos en cuanto al recorrido de los trabajadores y el tiempo que se toman para atender la demanda en un periodo típico con el plano inicial, con los mismos cálculos pero con la nueva disposición. Esta comparación demostró una mayor eficiencia y rapidez en el flujo del proceso con la nueva disposición.

En la Figura 1, se puede observar el diagrama de la metodología, la misma que se encuentra dividida en tres componentes. El primero se enfoca en el análisis de los procesos y el levantamiento correspondiente de la información, el segundo toma como referencia la planificación de la demanda y, por último, el tercero se enfoca en la planificación de requerimientos de almacén.

Figura 1

Diagrama de la metodología

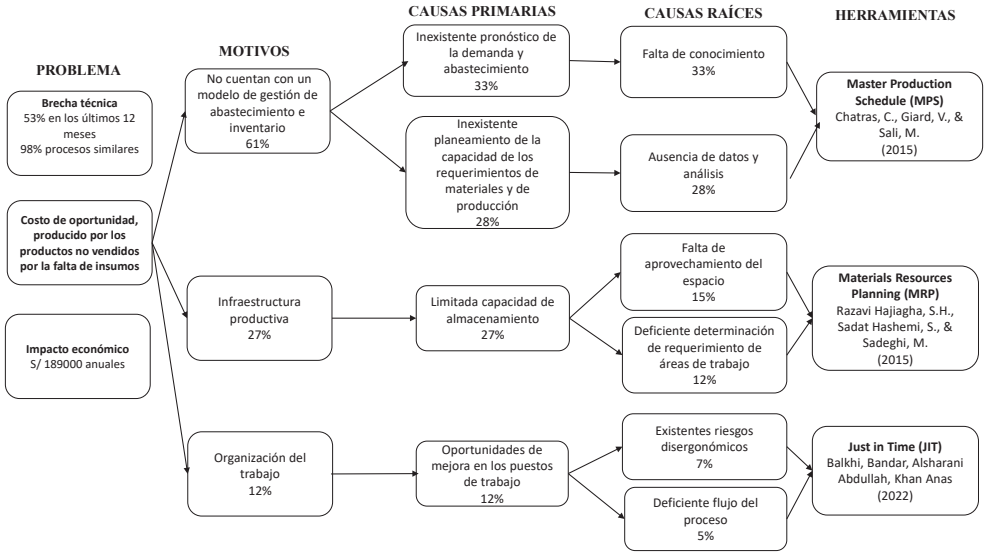


3. RESULTADOS

Con el fin de identificar, tanto los motivos como las causas de las ventas perdidas de la empresa, se elaboró un árbol de problemas (véase la Figura 2).

Figura 2

Árbol de problemas



Tal como se muestra en la Figura 2, se analizaron los tres motivos principales que originan los pedidos perdidos. Tomando en cuenta la frecuencia y el impacto económico de cada uno de ellos, se empezó por abordar el relacionado al modelo de la gestión de abastecimiento e inventario. Además, debe tomarse en consideración que JIT se identificó como una causa probable, pero no se abordó, porque el foco del trabajo es el planeamiento y el control de las operaciones.

Asimismo, el proceso de implementación del sistema MRP en un restaurante o en una *dark kitchen* inicia con la definición de los objetivos, como mejorar la eficiencia de producción, reducir costos y optimizar el inventario. Luego, se realiza la recopilación detallada de datos sobre productos, proveedores, historial de ventas y tiempos de preparación. Es importante mencionar que, la elección de Excel como *software* MRP, se basa en la adaptación a las necesidades específicas de la *dark kitchen*. La configuración del sistema implica ajustar el modelo del MRP en Excel para reflejar la estructura del menú y establecer niveles de inventario.

Posteriormente, se establece un plan maestro de producción (MPS) a corto plazo para determinar la cantidad platos por producir según la demanda proyectada y los recursos disponibles. La generación automática de órdenes de producción con MRP en Excel se realiza con base en el MPS y los datos de inventario actual. Por otra parte, la gestión de proveedores se optimiza mediante la generación de órdenes de compra, lo que asegura niveles de inventario adecuados y evita escasez.

El seguimiento periódico del desempeño del sistema MRP permite ajustes regulares, los cuales incluyen actualizaciones de pronósticos y ajustes en el MPS según los resultados reales. Además, la capacitación del personal es crucial para garantizar la eficacia del sistema MRP en la gestión de producción e inventario. Asimismo, es importante la evaluación continua del desempeño operativo, costos y satisfacción del cliente, respaldada por datos recopilados, dado que esta impulsa mejoras continuas en los procesos de producción y gestión de inventario.

Para el análisis de los resultados, se tomaron en cuenta los datos históricos brindados por la empresa, los cuales fueron puestos en modelo de gestión desarrollado que se realiza en cuatro pasos.

Primer paso. Pronóstico de la demanda

Se utilizó el promedio móvil para el pronóstico de la demanda (véase la Tabla 1), ya que la empresa no contaba con datos históricos suficientes. Además, se utilizó el mínimo de datos para el pronóstico que es de dos meses. Como se observa, la diferencia entre las ventas reales y las pronosticadas resultan ser muy pequeñas en términos porcentuales con relación a las ventas reales.

Tabla 1

Pronóstico de la demanda

Mes	Ventas reales 2023	Pronóstico de la demanda 2023	Exactitud del pronóstico
Enero	3012	-	-
Febrero	3278	-	-
Marzo	3142	3145	-0,10 %
Abril	3204	3210	-0,19 %
Mayo	3170	3173	-0,09 %
Junio	3185	3187	-0,06 %
Julio	3176	3178	-0,06 %
Agosto	3180	3181	-0,03 %
Septiembre	3175	3178	-0,09 %
Octubre	3170	3178	-0,25 %
Noviembre	3172	3173	-0,03 %
Diciembre	3170	3171	-0,03 %

Segundo paso. Plan maestro de producción

Se ingresa la demanda proyectada al MPS (véase la Tabla 2). El inventario final y de *stock* de seguridad es 0, debido a que el producto no permite el almacenamiento por ser perecible. No obstante, la tabla se puede utilizar para el desarrollo del MPS de la carne que se prepara y se puede almacenar por un máximo de cuatro días por políticas de la empresa.

Tabla 2

Plan maestro de producción

Plan maestro de producción	Semanas del mes de octubre					
	1	2	3	4	5	6
Inventario inicial	3000	375	0	0	0	0
Pronóstico	2625	2625	2625	2625	2625	2625
Inventario final	0	0	0	0	0	0
Stock de seguridad	0	0	0	0	0	0
MPS-producción	0	2250	2625	2625	2625	2625
Cantidad disponible	3000	2250	2625	2625	2625	2625

Tercer paso. Planificación de requerimientos de materiales

Al tener el MPS y la demanda proyectada, se desglosaron los insumos principales del producto que se muestra en la Figura 3. Con el estándar de los tiempos establecidos, el número de turnos y de operarios, que se muestran en la Tabla 3, se analizaó cada insumo tal como se muestra en la Tabla 4, desarrollada como ejemplo, para el insumo principal que es la carne. En la misma tabla se observa la reposición establecida sobre la base del *lead time* y el lote de compra.

Figura 3

Desglose del combo estudiado

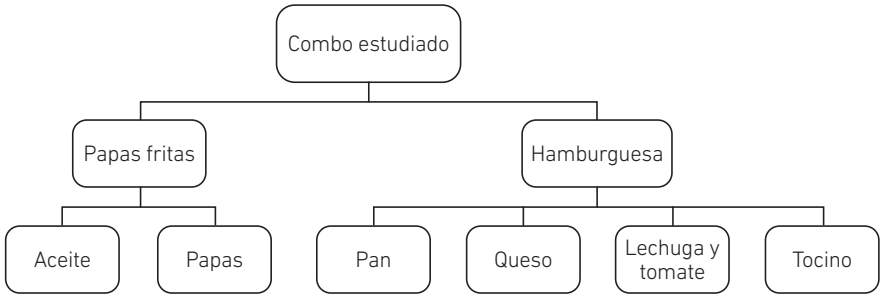


Tabla 3

Planificación de requerimientos de materiales

Operación	Carne	Queso	Lechuga	Tomate	Pan	Mantequilla	Papas	Aceite
Tiempo estándar (HH/unidad)	0,467	0,017	0,008	0,008	0,242	0,008	0,500	0,167
Eficiencia esperada	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Cantidad de turnos de siete horas	2	2	2	2	2	2	2	2
Operaciones asignadas por turno	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4

Planificación de requerimientos de materiales

Carne	Semana						
Operación	1	2	3	4	6	7	8
Requerimiento bruto							7000
Recepción programada							
Inventario disponible	3000	3000	3000	3000	3000	3000	0
Requerimiento neto							4000
Plan de pedidos							4000
Lanzamiento			4000				

Cuarto paso. Modelo de proyección de los beneficios brutos

Finalmente, se realizó un modelo de proyección de beneficios brutos, útil para la planificación financiera (véase la Tabla 5). En esta tabla se emplearon los costos de operación por unidad de producto proporcionados por la empresa. En la Tabla 5 se observan estos resultados para los últimos seis meses del 2023.

Tabla 5

Modelo proyección de los beneficios brutos

Unidades vendidas	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total de unidades vendidas
Hamburguesa bendita con papas	3176	3180	3175	3170	3172	3170	38 034
Precio unitario (en soles)							Precio unitario medio (en soles)
Hamburguesa bendita con papas	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9	39,9
Tasa crecimiento ventas (porcentaje)							Promedio de tasa de crecimiento (porcentaje)
Hamburguesa bendita con papas	0	0	0	0	0	0	1
Ingresos (unidades vendidas * precio unitario) (en soles)							Total de ingresos (en soles)
Hamburguesa bendita con papas	126 722,40	126 882,00	126 682,50	126 483,00	126 562,80	126 483,00	1 517 556,60
Unidad COGS (en soles)							Promedio COGS (en soles)
Hamburguesa bendita con papas	8,22	8,22	8,22	8,22	8,22	8,22	8,22
Margen por unidad (precio unitario – unidad COGS) (en soles)							Margen medio (en soles)
Hamburguesa bendita con papas	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68
Beneficio bruto (ingresos - COGS o margen por unidad * unidades vendidas) (en soles)							Beneficio bruto total (en soles)
Hamburguesa bendita con papas	100 615,68	100 742,40	100 584,00	100 425,60	100 488,96	100 425,60	1 204 917,12

Para validar este modelo, se analizaron los datos del mes de octubre del 2023 brindados por la empresa:

- Pedidos entrantes: 3170
- Pedidos atendidos: 2978
- Pedidos perdidos: 192

Estos datos se comparan con los que se hubieran obtenido de haber utilizado el modelo diseñado. Con el promedio móvil simple, se obtuvo como resultado que en el mes de octubre hubo una proyección de la demanda de 3 170 pedidos. No obstante, la empresa solo pudo atender, con los recursos disponibles, 2978 pedidos (192 pedidos menos de lo demandado), lo que significó la pérdida de oportunidad de ventas equivalentes al 5,72 % de los ingresos del mes, lo cual es significativo para una mype.

El promedio móvil contribuye a eliminar las fluctuaciones temporales y el ruido en los datos, lo que facilita la identificación de tendencias a largo plazo. En un entorno como el de la *dark kitchen*, la demanda diaria puede experimentar variaciones debido a elementos estacionales, días específicos de la semana, eventos especiales, entre otros. Entonces, utilizando el promedio móvil, se logra obtener una perspectiva más precisa de la demanda promedio a lo largo de un periodo extendido.

Cabe resaltar que en el análisis de los tiempos estándar, que proporcionó la empresa para el MRP, se observó el posible efecto negativo del mal aprovechamiento de la infraestructura productiva y una limitada capacidad de almacenamiento como resultado de un uso inapropiado del espacio productivo. El análisis del flujo de proceso productivo de las áreas disponibles y las dimensiones de los equipos determinaron la necesidad de mejorar el uso del espacio físico en la cocina.

Existen varios métodos para llevar a cabo esta evaluación del espacio físico. En este contexto, se presentará el método de Guerchet, el cual proporciona una aproximación precisa del área requerida y que se ha aplicado según las medidas actuales de los elementos móviles y estáticos en la empresa (véase la Tabla 6).

Tabla 6

Calculo de área

Nombre	L	A	h	N	n	Ss	Sg	Se	ST	Ss x n	Ss x n x h
Estante	2,30	0,60	2,20	1,00	1,00	1,38	0,00	1,147	2,527	1,38	3,04
Congeladora 1	1,80	0,80	1,30	1,00	1,00	1,44	1,44	2,394	5,274	1,44	1,87
Congeladora 2	1,13	0,64	0,78	1,00	1,00	0,72	0,72	1,192	2,628	0,72	0,56
Estante 2	1,14	0,60	2,20	1,00	1,00	0,68	0,00	0,568	1,252	0,68	1,50
Escritorio	1,52	0,56	1,38	1,00	1,00	0,85	0,85	1,415	3,117	0,85	1,17
Congeladora 3	1,03	0,68	1,13	1,00	1,00	0,70	0,70	1,164	2,565	0,70	0,79
Refrigeradora	0,60	0,58	1,86	1,00	1,00	0,35	0,35	0,578	1,274	0,35	0,65
Mesa de despacho 1	2,20	1,05	1,90	1,00	1,00	2,31	2,31	3,840	8,460	2,31	4,39
Mesa de despacho 2	2,00	0,71	0,91	1,00	1,00	1,42	1,42	2,360	5,200	1,42	1,29
Estante 3	1,50	0,58	1,60	1,00	1,00	0,87	0,00	0,723	1,593	0,87	1,39
Mesa de trabajo	2,40	1,20	0,80	2,00	1,00	2,88	5,76	7,182	15,822	2,88	2,30
Horno estante	0,86	0,50	0,90	1,00	1,00	0,43	0,43	0,714	1,574	0,43	0,39
Estante 4	1,16	0,58	1,60	1,00	1,00	0,67	0,00	0,559	1,232	0,67	1,08
Lavadero	1,67	0,64	0,90	1,00	1,00	1,07	1,07	1,776	3,914	1,07	0,96
Cocina	0,83	0,70	0,80	1,00	1,00	0,58	0,58	0,965	2,127	0,58	0,46
Freidora	0,42	0,78	1,15	1,00	1,00	0,33	0,33	0,544	1,199	0,33	0,38
Plancha de hamburguesas	1,00	0,75	0,93	1,00	1,00	0,75	0,75	1,246	2,746	0,75	0,70
Carretilla	1,18	1,00	0,15	-	1,00	1,18	-	-	-	1,18	0,177
Operarios	-		1,65	-	4,00	0,50	-	-	-	2,00	3,30
Medida ideal									62,51	17,43	22,93

La medida ideal del área productiva es de 62,51 m^2. Actualmente, el área disponible de la empresa es de 60 m^2. Sin embargo, se pudo observar que hay estantes que se encuentran poco utilizados y podrían eliminarse, tal como se observa en las figuras 4 y 5.

Figura 4

Fotografía de estantes y congeladora de la dark kitchen



Figura 5

Fotografía del estante de la dark kitchen



Por otro lado, para optimizar la capacidad de conservación, se reemplazaron las refrigeradoras actuales por dos congeladoras/refrigeradoras industriales. Con estos cambios se realizó un nuevo análisis de Guerchet, tal como se muestra en la Tabla 7, donde el espacio total requerido es de 55,49 m^2.

Tabla 7

Método Guerchet

Nombre	L	A	h	N	n	Ss	Sg	Se	ST	Ss x n	Ss x n x h
Congeladora/ refrigeradora	1,20	0,74	1,95	2,00	1,00	0,89	1,78	2,281	4,945	0,89	1,730
Estante 1	1,14	0,60	2,20	1,00	1,00	0,68	0,68	1,171	2,539	0,68	1,500
Escritorio	1,52	0,56	1,38	1,00	1,00	0,85	0,85	1,457	3,160	0,85	1,170
Mesa de despacho 1	2,20	1,05	1,90	1,00	1,00	2,31	2,31	3,956	8,576	2,31	4,390
Mesa de despacho 2	2,00	0,71	0,91	1,00	1,00	1,42	1,42	2,431	5,271	1,42	1,290
Estante 2	1,50	0,58	1,60	1,00	1,00	0,87	0,87	1,490	3,230	0,87	1,390
Mesa de trabajo	2,40	1,20	0,80	2,00	1,00	2,88	5,76	7,398	16,037	2,88	2,300
Horno estante	0,86	0,50	0,90	1,00	1,00	0,43	0,43	0,736	1,596	0,43	0,390
Lavadero	1,67	0,64	0,90	1,00	1,00	1,07	1,07	1,830	3,968	1,07	0,960
Cocina	0,83	0,70	0,80	1,00	1,00	0,58	0,58	0,995	2,157	0,58	0,460
Freidora	0,42	0,78	1,15	1,00	1,00	0,33	0,33	0,561	1,216	0,33	0,380
Plancha de hamburguesas	1,00	0,75	0,93	1,00	1,00	0,75	0,75	1,284	2,784	0,75	0,700
Carretilla	1,18	1,00	0,15		1,00	1,18	-	-	-	1,18	0,177
Operarios	-		1,65		4,00	0,50	-	-	-	2,00	3,300
Medida ideal									55,484	13,06	16,680

Con el fin de organizar el espacio en función del flujo eficiente de proceso, considerando las diferentes relaciones en las zonas productivas identificadas, se propone un rediseño de instalaciones de la cocina. Para ello, se llevó a cabo un diagrama relacional de actividades.

Primero, se identificaron los siete espacios o actividades:

1. Almacén de materias primas
2. Zona de lavado
3. Mesa de trabajo
4. Zona de producción
5. Mesa de control de calidad
6. Mesa de despacho
7. Zona administrativa

Segundo, se determinó la lista de motivos que determinan la necesidad de proximidad de los espacios o actividades, el cual se detalla a continuación:

1. *Seguimiento eficiente del flujo del proceso*. Considerando el orden de las actividades, se busca que los espacios se encuentren lo suficientemente cerca para poder continuar con la eficiencia del proceso.
2. *Facilidad de carga y descarga*. Es fundamental tener en cuenta el peso que pueden tener algunos insumos y la importancia de tener los almacenes cerca de la zona de producción.
3. *Control de insumos*. Antes de empezar con la producción, de alguna u otra forma, se evalúan y analizan los insumos con el fin de mantenerlos en óptimo estado.
4. *Control de pedidos*. Una vez que los pedidos ya se encuentran listos, es importante verificar que cumplan con lo solicitado por los clientes.

Tercero, se elaboró la tabla relacional de actividades que se muestra en las figuras 6 y 7.

Figura 6

Tabla relacional de actividades

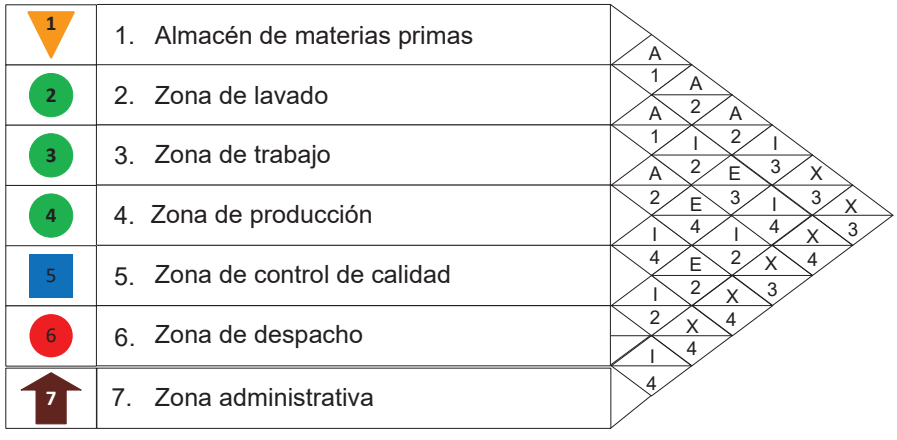
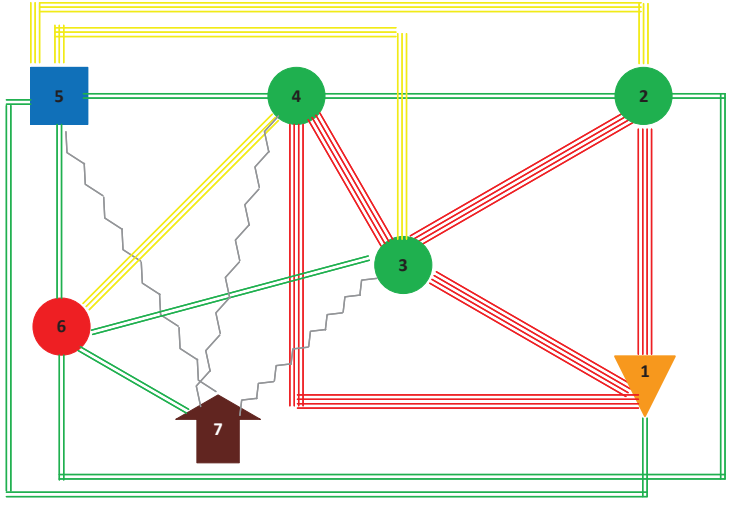


Figura 7

Diagrama relacional de actividades



Como se puede ver en la Figura 7, las relaciones más importantes se encuentran entre el almacén de materias primas (1), la zona de lavado (2), la mesa de trabajo (3) y, finalmente, la zona de producción (4), dado que son zonas que deben estar cerca para generar eficiencia y rapidez, considerando que el proceso parte desde el almacén de materias primas. Además, como muchos de los insumos más importantes deben ser lavados o, incluso, llevados a la mesa de trabajo directamente, se enfatiza la cercanía de estas zonas (1, 2, 3 y 4) para realizar con mayor rapidez estos procesos. Asimismo, otra relación importante está entre la mesa de despacho (6) y la zona administrativa (7). Esta última sirve para verificar, a través de la computadora o pizarra, que los pedidos cuenten con todos los requisitos solicitados por los clientes.

Finalmente, definido el diagrama relacional de actividades, se realizó la nueva disposición de planta, cuyo resultado se muestra en la Figura 9. De igual manera, el plano completo de las instalaciones se muestra en la Figura 8, donde se observa los baños y áreas externas sobre las cuales no se ha realizado ninguna modificación, ya que esto requeriría una inversión en obra civil que la empresa no puede efectuar. Por otro lado, los cambios propuestos más importantes en la zona de cocina son la eliminación de una repisa y una congeladora adicional en un almacén lo suficientemente grande para las materias primas cerca de la zona de producción, la inclusión de la mesa de control de calidad separada de la mesa de despacho y la ubicación de la zona administrativa en una posición que permite el control de entradas y salidas.

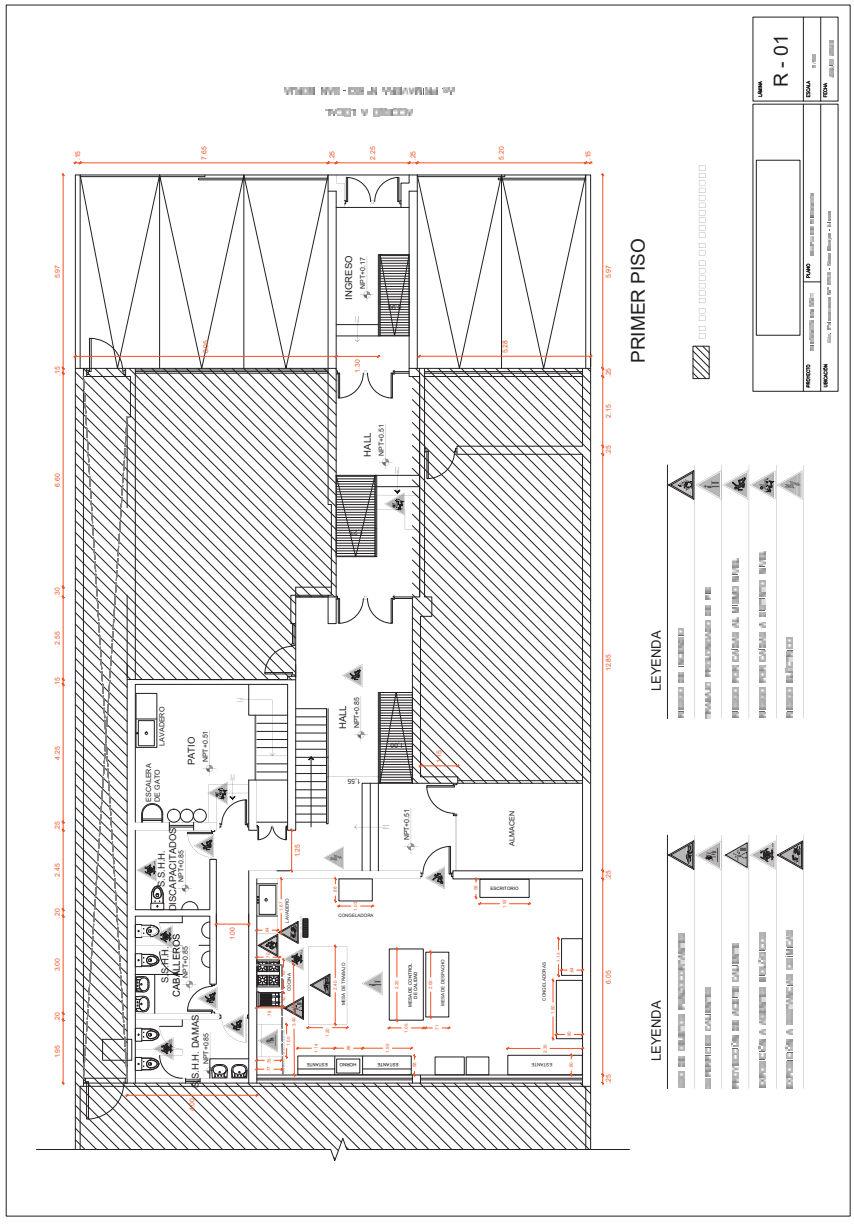
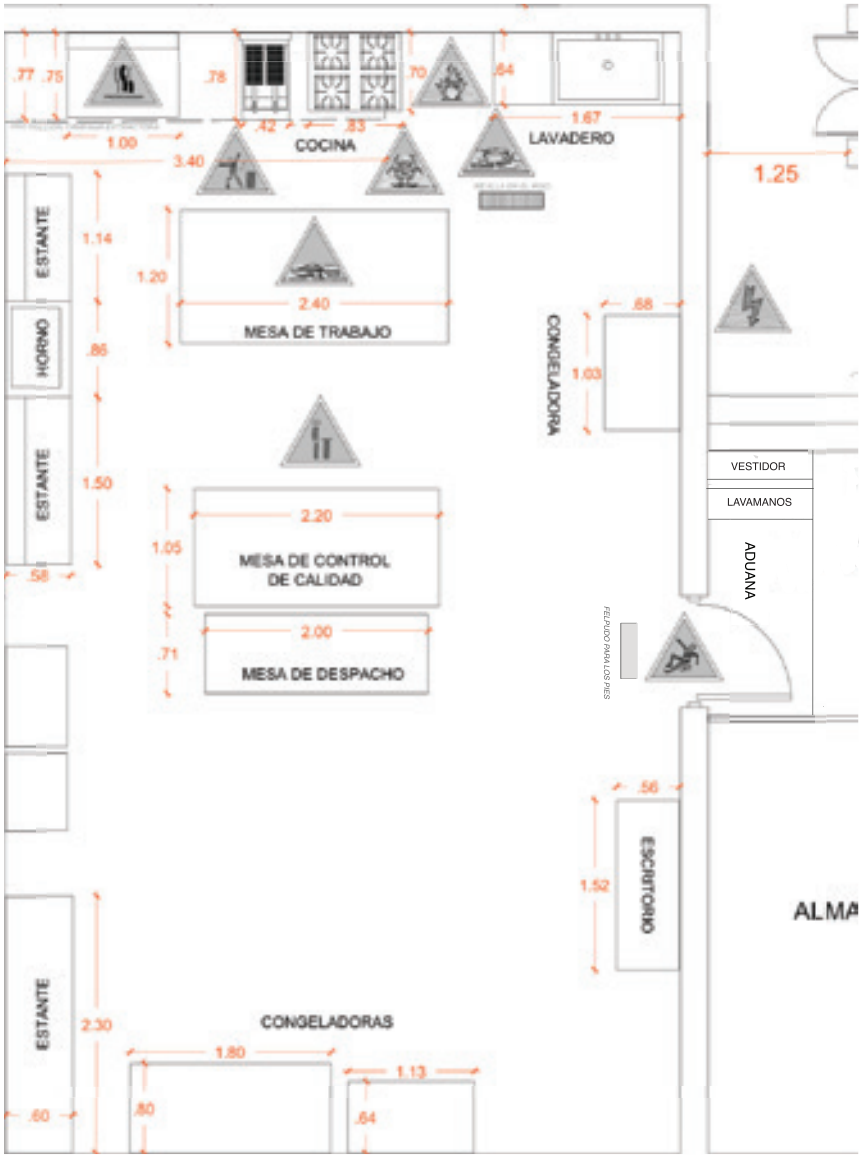


Figura 8
Plano de la dark kitchen

Figura 9

Disposición de la dark kitchen



Actualmente, el tiempo total de elaboración de un lote promedio de seis hamburguesas con papas es de 1 hora y 19 minutos; sin embargo, con la nueva disposición y el nuevo recorrido se podría tener un tiempo total de elaboración para el lote promedio de 1 hora y 4 minutos. Los cálculos detallados de estos tiempos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Tiempo total de preparación de una hamburguesa con papas en la actualidad versus la nueva disposición

Preparación de una hamburguesa con papas en la actual disposición de planta (minutos)		Preparación de una hamburguesa con papas en la nueva disposición de planta (minutos)	
Tiempo de preparación la carne	24	Tiempo de preparación la carne	20
Tiempo de preparación las papas	37	Tiempo de preparación las papas	30
Tiempo de horneado del pan	15	Tiempo de horneado del pan	12
Tiempo de armado de la hamburguesa	3	Tiempo de armado de la hamburguesa	2
Tiempo total	1h 19min	Tiempo total	1h 4min

4. DISCUSIÓN

La cadena de suministro es clave en cualquier negocio, porque, con base en su eficiencia, se define el nivel de servicio al cliente. Frente a ello, investigaciones anteriores señalan la falta de indicadores de seguimiento y de datos para evaluar el desempeño de los procesos de la cadena de suministro (Juliana et al., 2022). Por otra parte, Raftowicz et al. (2020) enfatizan que la distancia entre el productor y el consumidor genera no solo ciertos problemas para mantener la rentabilidad de los pequeños productores locales, sino también una amenaza para la seguridad alimentaria. Además, indican que las cadenas de suministro cortas son convenientes para la sostenibilidad de la producción alimentaria, como la transparencia del proceso de producción de alimentos de alta calidad, a partir de una fuente de origen identificable (Raftowicz et al., 2020).

Por último, tal como mencionan Rahbari et al. (2023), la implementación de un modelo de cadena de suministro es de gran ayuda para cualquier tipo de empresa del rubro alimenticio. Del mismo modo, esta estrategia redujo en un 8,03 % los costos de la cadena de suministros y aumentó en un 3,65 % los recursos humanos empleados (Rahbari et al., 2023). Al igual que estas investigaciones, las mejoras propuestas generan aproximadamente un 10 % adicional de pedidos entrantes atendidos con un efecto directo en los beneficios económicos de la empresa.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de un modelo de proyección de la demanda (MPS y MRP) conduce a una mejora significativa en la eficiencia operativa y permite una mejor gestión de inventarios, programación de personal y producción, lo que puede reducir el desperdicio y

mejorar la rentabilidad. Asimismo, anticipar la demanda y garantizar la disponibilidad de alimentos y bebidas en el momento adecuado mejora la satisfacción del cliente.

Por otro lado, emplear el método de Guerchet y el diagrama relacional de actividades permite rediseñar instalaciones de manera sencilla. Con el plano del rediseño se puede, incluso, simular el recorrido y validar si el rediseño reduce el tiempo de producción.

En esta investigación no se han abordado los aspectos relacionados al diseño de los puestos de trabajo de los colaboradores y queda pendiente evaluar aspectos ergonómicos del trabajo.

Finalmente, es importante mencionar que la empresa ha adoptado los modelos de proyección de la demanda (MPS y MRP) que contribuyen a mejorar el planeamiento y control de operaciones, y a la profesionalización de la gestión de esta mype *dark kitchen*, lo que motiva a la empresa a continuar el proceso de mejora continua.

6. REFERENCIAS

Aditi, B., Djakasaputra, A., Dewianawati, D., Wahyoedi, S., & Titin. (2022). Supply chain performance and visit interest of restaurants: the role of buzz and viral marketing strategic. *Uncertain Supply Chain Management*, (10), 437-444. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.12.008

Alkhawaldah, R., Alshalabi, F., Alshawabkeh, Z., Alsha'ar, H., Alzoubi, M., Alshawabkeh, R., & Al-Dweiri, M. (2023). The mediating role of organizational capabilities on the relationship between lean supply chain and operational performance. *Uncertain Supply Chain Management*, (11), 11-20. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.12.005

Balkhi, B., Alshahrani, A., & Khan, A. (2022). Just-in-time approach in healthcare inventory management: does it really work?. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *30*(12), 1830-1835. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2022.10.013

Barqawi, B., Shibly, M., Jomaa, M., Alharafsheh, M., & Abulehyeh, S. (2023). Digital supply chain adoption: an empirical result from food industry. *Uncertain Supply Chain Management*, *11*(2), 755-762. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2023.1.005

Borsotto, P., Cagliero, R., Giarè, F., Giordani, G., Iacono, R., Manetti, I., & Sardone, R. (2023). Measuring short food supply chain sustainability: a selection of attributes and indicators through a qualitative approach. *Agriculture*, *13*(3), 646. https://doi.org/10.3390/agriculture13030646

Carbajal-Roman, G., Lopez-Vela, C., Viacava-Campos, G., & Quiroz-Flores, J. (2021). Reducing waste in fast-food restaurants. En Y. Iano, O. Saotome, G. Kemper, A. C. Mendes de Seixas & G. Gomes de Oliveira (Eds.), *Smart innovation,*

systems and technologies (Vol. 233, pp. 419-426). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75680-2_47

Cozzio, C., Viglia, G., Lemarie, L., & Cerutti, S. (2023). Toward an integration of blockchain technology in the food supply chain. *Journal of Business Research*, *162*. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113909

Gupta, S., Chatterjee, P., Rastogi, R., & Gonzalez, E. D. S. (2023). A delphi fuzzy analytic hierarchy process framework for criteria classification and prioritization in food supply chains under uncertainty. *Decision Analytics Journal*, *7*. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100217

Juliana, J., Nagoya, R., Bangkara, B., Purba, J., & Fachrurazi, F. (2022). The role of supply chain on the competitiveness and the performance of restaurants. *Uncertain Supply Chain Management*, *10*(2), 445-452. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.12.007

Ku, E. C. S., Hsu, S., & Wu, W. (2020). Connecting supplier-supplier relationships to achieve supply chain performance of restaurant companies. *Journal of Hospitality and Tourism Insights*, *3*(3), 311-328. https://doi.org/10.1108/jhti-10-2019-0113

Kurdi, B. A., Alzoubi, H. M., Alshurideh, M., Alquqa, E. K., & Hamadneh, S. (2023). Impact of supply chain 4.0 and supply chain risk on organizational performance: an empirical evidence from the UAE food manufacturing industry. *Uncertain Supply Chain Management*, *11*(1), 111-118. http://dx.doi.org/10.5267/j.uscm.2022.11.004

Raftowicz, M., Kalisiak-Mędelska, M., & Struś, M. (2020). Redefining the supply chain model on the Milicz Carp Market. *Sustainability*, *12*(7). https://doi.org/10.3390/su12072934

Rahbari, M., Khamseh, A. A., & Mohammadi, M. (2023). A novel robust probabilistic chance constrained programming and strategic analysis for Agri-food closed-loop supply chain under pandemic crisis. *Soft Computing, 28*, 1179-1214. https://doi.org/10.1007/s00500-023-09156-y

Sato, M., & Mizuyama, H. (2022). Global environmental issues: food and agriculture education to address food loss and waste, aiming at a sustainable supply chain. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, *68*, S95-S97. https://doi.org/10.3177/jnsv.68.s95

Shin, S., & Cho, M. (2022). Green supply chain management implemented by suppliers as drivers for SMEs environmental growth with a focus on the restaurant industry. *Sustainability*, *14*(6). https://doi.org/10.3390/su14063515

CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE
Quality and Environment

Integración de sistemas de gestión en empresas de la industria alimentaria de Aguascalientes-México

Dulce Inés Castañeda Fernández*
https://orcid.org/0009-0001-5450-7865
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Aguascalientes, México

Juan Gerardo Mejía Reyes
https://orcid.org/0009-0005-0359-5964
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Aguascalientes, México

Carmen Estela Carlos Ornelas
https://orcid.org/0000-0002-8516-2062
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Aguascalientes, México

Daniel Castillo Corral
https://orcid.org/0000-0002-7944-6579
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Aguascalientes, México

Héctor Manuel Reséndiz Serrano
https://orcid.org/0009-0005-5474-8879
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Aguascalientes, México

Recibido: 17 de enero del 2024 / Aceptado: 4 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6886

RESUMEN. En este artículo se reportan los niveles de integración y los beneficios obtenidos por diecisiete empresas de la industria alimentaria de Aguascalientes-México que

Este estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología de México.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: G22153070@aguascalientes.tecnm.mx; juan_gerardo.mr@aguascalientes.tecnm.mx; carmen.co@aguascalientes.tecnm.mx; daniel.cc@aguascalietes.tecnm.mx; hector.rs@aguascalientes.tecnm.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).

han integrado dos o más sistemas de gestión. Se consideraron como niveles de integración a la armonización documental, a la integración parcial y a la integración completa; y como beneficios a la fuerza laboral, a la organización y al desempeño. El 92 % cumplía con la armonización documental; el 80 %, con integración parcial; el 73,5%, con la integración completa. Los mayores beneficios fueron los beneficios de desempeño en la mejora de la calidad de los productos o servicios en un 65 % de las empresas.

PALABRAS CLAVE: gestión de empresas / gestión de la calidad total / industria alimentaria / gestión ambiental / seguridad industrial / responsabilidad social de la empresa

INTEGRATION OF MANAGEMENT SYSTEMS IN FOOD INDUSTRY COMPANIES OF AGUASCALIENTES MEXICO

ABSTRACT. The levels of integration and benefits obtained by 17 companies in the food industry of Aguascalientes that have integrated two or more management systems are reported. Documentary harmonization, partial integration and complete integration were considered as levels and as benefits: workforce benefits, organizational benefits and performance benefits. 92% complied with documentary harmonization, 80% with partial integration and 73,5% with complete integration. The greatest benefits were the performance benefits in improving the quality of products and/or services in 65% of the companies.

KEYWORDS: industrial management / total quality management / food industry / environmental management / industrial safety / social responsibility of business

1. INTRODUCCIÓN

La integración de los sistemas de gestión (SIG) de las empresas —como los de inocuidad, calidad, salud y seguridad en el trabajo, ambiente y responsabilidad social, entre otros— es utilizada para optimizar recursos organizacionales. Además, ha ganado la aceptación internacional por su contribución a la eficacia de las organizaciones debido a su orientación a la estandarización y mejora continua de sus procesos. En dicho proceso, los sistemas se integran de forma horizontal y vertical para crear uno solo, por lo que la integración puede ser una actividad compleja que requiere de un enfoque multidisciplinario que incluye la cultura de la calidad y la responsabilidad (Paraschivescu et al., 2022).

La integración se refiere a reunir y combinar las prácticas de gestión interna de dos o más sistemas de gestión en un solo. Para que puedan llegar a integrarse los sistemas de gestión, deben estar interconectados (Paraschivescu et al., 2022), ya que la integración resulta cuando los sistemas se encuentran vinculados de tal forma que se pierde la independencia de uno o ambos sistemas de gestión (Douglas & Glen, 2000). Entonces, los SIG integrados pueden ser definidos como un conjunto de procesos interrelacionados que utilizan los mismos recursos para el logro de objetivos relacionados con la satisfacción de las partes interesadas (Paraschivescu et al., 2022).

Los beneficios que las empresas reciben de la integración de sistemas de gestión son diversos. Por ejemplo, además de la optimización de sistemas y la utilización de los recursos, puede generar un aumento en la competitividad de las organizaciones practicantes (Esquer-Peralta et al., 2008), ya que reduce la documentación burocrática y genera sinergia entre los sistemas que se integran (Abad, 2011; Abad et al., 2014). Asimismo, Almeida et al. (2014) encontraron en la evaluación realizada a cuatro organizaciones portuguesas, que integraron el sistema de gestión de calidad (SGC) con el sistema de gestión ambiental y salud y seguridad en el trabajo, un conjunto de beneficios que motivan a integrar los sistemas. Dichos beneficios se reflejan en los cambios estructurales relacionados con los procesos, la documentación, la comunicación y las responsabilidades de los empleados.

Por su parte, Bernardo et al. (2015) hallaron que los beneficios internos que las empresas reciben son mayores que los beneficios externos, debido a que la decisión de implementar la integración de sistemas de gestión es más interna que externa. Sin embargo, puede esperarse que, a largo plazo, los beneficios internos se reflejen en beneficios externos como mejora de la imagen y aumento de la lealtad de los clientes, entre otros.

A pesar de la existencia de estudios sobre los sistemas integrados de gestión (SIG) y sus beneficios, son escasos los trabajos que reportan integraciones que incluyan sistemas

de gestión de inocuidad en la industria alimentaria o que reportan la integración de otros sistemas en esa industria. Para contribuir a cubrir esa brecha de investigación, este trabajo se enfoca en la industria alimentaria de México, cuyo peso económico se refleja en su producto interno bruto (PIB) que, en el primer trimestre del 2023, fue de US$ 5,48 billones de pesos, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s. f.-b). Además, dicha industria está compuesta por 217 477 unidades económicas, según el análisis de datos publicados sobre economía mexicana en la plataforma DataMÉXICO (s. f.), y cuenta con una inversión extranjera directa de US$ 800 millones y ocupa una población de 4,1 millones. En el estado mexicano de Aguascalientes, esta industria es la segunda más importante después de la industria automotriz (DESDElared, 2023)y su valor de ventas de productos elaborados presentó un crecimiento anual del 6 % en marzo del 2020 (Méndez, 2020).

La importancia del sector, aunada a la brecha de investigación mencionada, da lugar a la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tan integrados se encuentran los sistemas de gestión de las empresas de la industria alimentaria de Aguascalientes y qué beneficios están obteniendo las empresas practicantes?

La literatura de investigación sobre los SIG es escasa, a pesar del creciente interés de las empresas en usarlos como medios para aumentar la eficiencia y calidad de sus operaciones. No obstante, la revisión efectuada en bases de datos académicas y revistas científicas especializadas en calidad permitió, aunque de manera limitada, identificar los elementos teóricos y empíricos con los que se estructuró el marco de referencia de este trabajo.

1.1 Metodologías para la integración de sistemas de gestión

En diversos países se practicaron esfuerzos para desarrollar metodologías de integración de sistemas. En Australia y en Nueva Zelanda, se utilizó la guía para empresas, gobiernos y organizaciones comunitarias conocida como AS/NZS 4581:1999 (Abad, 2011); en Dinamarca, para orientar a las organizaciones empresariales, gubernamentales y comunitarias, se utilizó la norma danesa DS 8001:2005 que describe tanto la gestión como los puntos comunes e individuales que pueden formar parte de un SIG; en España, se usó la guía para la integración de los SIG conocida como UNE 67177:2005; en Reino Unido, se utilizó la PAS 99:2012 por parte de la British Standards Institution, que reúne las especificaciones de los requerimientos comunes del sistema de gestión que enmarcan la integración (Mora-Contreras, 2019). En el 2008, el Organismo Internacional de Normalización publicó el libro *El uso integrado de estándares de gestión* (Mora-Contreras, 2019), con la intención de guiar a las organizaciones en el diseño de un SIG ágil y eficaz.

La diversidad de metodologías de integración propuestas evidenció la necesidad de un estándar internacional que la favoreciera y unificara. Con ese fin, en el 2012 el

Organismo Internacional de Normalización diseñó una estrategia que consiste en una estructura de alto nivel o anexo SL, para todas las normas de sistemas de gestión ISO (Mora-Contreras, 2019). El anexo ha cambiado las actualizaciones que las normas ISO han tenido. La última versión de la norma, la ISO 9001:2015, está basada en una estructura superpuesta y mejorada del Anexo SL que consta de diez cláusulas. Estas tienen como fin alinear diferentes estándares de sistema de gestión mediante el uso de una estructura de documentos de alto nivel que incluye la utilización de definiciones comunes (Bernardo et al., 2017).

1.2 Niveles de integración de sistemas de gestión

De los estudios sobre el tema han surgido propuestas de grados o niveles de integración de los sistemas de gestión (véase la Tabla 1). Wilkinson y Dale (1999) aportaron un modelo de cuatro niveles. El primero se aplica a los sistemas de gestión individuales en los que el sistema está integrado en cada función y actividad de la organización. El segundo comprende una combinación de sistemas basado en los vínculos identificados en los anexos de las normas que proporcionan una visión sobre cómo las organizaciones pueden integrar sus sistemas. El tercer nivel requiere la integración de los sistemas de ambiente y salud y seguridad en el trabajo con otros sistemas certificados como Invesstors in People, que es una norma para lograr mejores resultados en las empresas mediante el desarrollo de las personas. Cuando se utiliza dicha norma, se cumplen los requisitos de capacitación de los tres sistemas por separado. En el cuarto nivel, ya sea que los sistemas estén certificados o no, están integrados con el sistema de gestión general y constituyen un auténtico SIG.

Por su parte, Karapetrovic (2003) propuso dos niveles de integración (véase la Tabla 1). El primero, el más frecuente según el mismo autor, es el de integración parcial que puede cubrir desde únicamente una colaboración hasta la alineación y armonización tanto de los objetivos como de los procesos y recursos de gestión independientes. El segundo nivel es de integración total en la que los sistemas constituyentes pierden sus identidades y generan una amalgama o combinación completa en un único sistema de gestión.

En un trabajo sobre la integración de sistemas de gestión, enfocada a la seguridad en la industria nuclear, se identificaron los niveles de la armonización, la cooperación y la fusión (véase la Tabla 1). Los resultados mostraron que una integración plena requiere de la pérdida completa de las identidades de cada sistema de gestión y que la integración no debe restringirse a unos pocos sistemas (Beckmerhagen et al., 2003).

Asimismo, Pojasek (2006) sostiene que alinear los elementos comunes en los estándares no basta para crear un sistema integrado, ya que no todos los elementos son comunes a todas las normas. De acuerdo con el mismo autor, la British Standards

Institution, considera que un sistema integrado progresa de la combinación a la integración pasando por los siguientes estadios: (1) combinado, (2) integrable, (3) en integración e (4) integrado (Pojasek, 2006) (véase la Tabla 1). En un sistema que se encuentra en el paso 1, se utilizan al mismo tiempo, y por separado, los sistemas de gestión en una organización. En el estadio 2, se tienen identificados los elementos comunes en los sistemas de gestión. En el paso 3, no solo se han identificado los elementos comunes, sino que se están integrando, es decir, combinando. Finalmente, en el último estadio, existe un sistema que reúne todos los elementos comunes (Pojasek, 2006).

Por otra parte, desde la perspectiva de Jørgensen et al. (2006), existen tres niveles de integración (véase la Tabla 1). El primero es el de correspondientes, en el que se presenta una compatibilidad con referencias cruzadas. El segundo nivel es el de coordinados y coherentes, que hace referencia a procesos genéricos enfocados a las tareas del ciclo de gestión. Por último, el tercer nivel es el de estratégicos e inherentes, en los que hay una cultura organizacional de aprendizaje, mejora continua del desempeño e interés e involucramiento de las partes interesadas en relación con los desafíos internos y externos que implica beneficios potenciales de reducción administrativa y ventajas competitivas (Jørgensen et al., 2006).

Luego, Bernardo et al. (2009) efectuaron un trabajo en el que evaluaron los niveles de integración de 362 empresas (véase la Tabla 1). Para ello, propusieron tres niveles de integración. El primero de ellos es aquel en el que no existe integración, el segundo nivel tiene una integración parcial y el tercero es aquel que cuenta con una integración completa.

Posteriormente Abad et al. (2014) trabajaron con una propuesta taxonómica de tres niveles secuenciales (véase la Tabla 1). El nivel 1 es el de armonización documental, el cual se refiere a la cantidad de procedimientos escritos del SIG de gestión y que, para alcanzarlo, solo se requiere integrar la conformación de la documentación. El nivel 2 corresponde a la integración parcial, el cual se alcanza al integrar la conformación de la documentación y uno o dos de los componentes del mapa de procesos, como procesos estratégicos de auditoría o de soporte. El mapa de procesos es una representación gráfica que muestra cómo se intercomunican los procesos que conforman el sistema de gestión. El nivel 3 es el de integración completa. Para alcanzarlo, se requiere que tanto la distribución de documentación como uno o dos de los elementos de mapa de proceso se encuentren totalmente integrados (Abad et al., 2014).

Tabla 1

Niveles de integración

Niveles de integración	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Wilkinson y Dale (1999)	Estándar individual	Combinación de sistemas	Integración de sistemas	Sistema integrado
Beckmerhagen et al. (2003)	Armonización	Cooperación	Combinación	-
Karapetrovic (2003)	Integración parcial	Total	-	-
Pojasek (2006)	Combinado	Integrables	En integración	Integrado
Jørgensen et al. (2006)	Correspondiente	Coordinados y coherentes	Estratégicos e inherentes	-
Bernardo et al. (2009)	No integrado	Parcialmente integrado	Integración completa	-
Abad et al. (2014)	Armonización documental	Integración parcial	Integración completa	-

1.3 Beneficios de la integración de sistemas de gestión

Para obtener beneficios de la integración se requiere de la compatibilidad de los sistemas y de la comprensión de los procesos, lo cual está relacionado con la coordinación interna. Los SIG proporcionan estructura y dirección a los negocios y les permiten garantizar que los estándares de certificación individuales sean cumplidos de la manera más rentable (Zeng et al., 2011) y que se obtengan beneficios relacionados con la implementación y el mantenimiento del sistema integrado (Jørgensen et al., 2006). La Tabla 2 reporta los beneficios que se han identificado en diversas investigaciones realizadas sobre el tema.

Un estudio empírico de pequeñas y medianas empresas, en las que se integraron el ISO 9001 (gestión de calidad) y el ISO 14001 (gestión ambiental) en Reino Unido, reveló que los beneficios obtenidos de la integración fueron la reducción de trámites y papeleo, formación de auditores multifuncionales, mayor facilidad de administrar los sistemas, mayor eficacia interna y externa, mejora de la comunicación, mejora de la imagen con los clientes y una reducción de costos (Douglas & Glen, 2000) (véase la Tabla 2).

Jørgensen et al. (2006) sostienen que al haber diferentes niveles de integración, entonces los beneficios potenciales también son diferentes. Estos pueden ser la reducción de cargas administrativas, coordinación interna, ventaja competitiva y avances hacia la responsabilidad organizacional, relacionada con los estándares implementados (véase la Tabla 2).

En un estudio realizado a empresas italianas, que contaban con tres estándares de certificación, se identificaron numerosos beneficios derivados de la integración. Entre los más destacados se encontraron a la optimización y unificación de auditoría interna y

externa; la reducción del volumen de documentación y una sinergia entre los estándares implementados que ahorró tiempo, dinero y mano de obra (Salomone, 2008) (véase la Tabla 2). Por su parte, un estudio de Zeng et al. (2011) reveló que, como consecuencia de la integración de sistemas, se obtuvieron los beneficios de reducción de papeleo, reducción de costos de gestión, menor complejidad de gestión interna, procesos de certificación simplificados y la facilitación de la mejora continua. También se halló que la experiencia en el proceso de implementación del SIG está correlacionada con la materialización de los beneficios obtenidos (véase la Tabla 2).

Por otro lado, Abad et al. (2014), en un análisis de empresas con SIG, encontraron una importante heterogeneidad entre los niveles de integración. También hallaron que los once beneficios corporativos derivados de la integración serán mayores si los niveles de integración logrados son más altos. Los beneficios obtenidos se concentraron en los internos, los cuales fueron los siguientes: mayor capacidad para logro de objetivos, reducción de burocracia, reducción de costos de auditoría interna y mejora de la calidad de los productos y servicios. Con base en los resultados del estudio, los autores mencionados categorizaron los beneficios en tres dimensiones: beneficios de fuerza laboral, beneficios organizacionales y beneficios de desempeño (véase la Tabla 2).

En el estudio de cuatro empresas portuguesas regidas por el "Sistema de gestión de la calidad, ambiental y salud y seguridad en el trabajo", Almeida et al. (2014) detectaron como los principales beneficios derivados de los SIG a la mejora de la relación entre las partes interesadas, los procedimientos mejorados, una definición de responsabilidad más nítida, una reducción de documentación y costos, una visión global de la alta dirección, mejoras en el trabajo y en la organización, mejora en la comunicación, aumento de eficacia y sistematización y aumento de la velocidad de los trámites (véase la Tabla 2).

En la literatura hay un amplio consenso en que se identifican mayores beneficios derivados de los SIG que en la implementación de estándares por separado, como lo señala Bernardo et al. (2015). Tal consenso se fundamento en el análisis de dieciocho investigaciones en las que detectó como beneficios frecuentes la mejora de la eficiencia, la rentabilidad, la satisfacción del cliente, la relación con el personal y la imagen organizacional (Bernardo et al., 2015) (véase la Tabla 2).

Tabla 2

Beneficios de la implementación de un sistema integrado de gestión

Beneficios	Douglas y Glen (2000)	Jørgensen et al. (2006)	Salomone (2008)	Zeng et al. (2011)	Simon et al. (2012)	Simon et al. (2013)	Abad et al. (2014)	Almeida et al. (2014)	Bernardo et al. (2015)
Reducción de trámites y papeleo	X		X	X				X	
Auditores multifuncionales	X								
Sistemas más fáciles de administrar	X								
Mejor eficacia interna y externa	X				X			X	X
Mejor comunicación interna y externa	X						X	X	
Reducción de costos	X		X	X			X	X	
Coordinación interna		X							
Ventaja competitiva		X					X		
Reducción de carga administrativa		X							
Menor complejidad de gestión interna				X				X	
Procesos de certificación simplificados				X					
Mejora continua				X					
Optimización y simplificación de auditorías			X						
Sinergia entre estándares			X						
Simplificación de tareas					X	X			
Mejora de la cultura organizacional						X			
Mejor uso de resultados de auditoría					X	X			
Mejor imagen organizacional	X				X	X	X		X
Reducción de burocracia			X				X		
Recursos humanos ahorrados			X						
Descartar conflictos de diferentes estrategias de la empresa			X						
Mejor definición de responsabilidades			X					X	
Mejora de calidad en productos y servicios							X		
Mayor capacidad de logro de objetivos							X		
Mejora de procedimientos								X	
Visión global desde la alta dirección								X	
Mejor rentabilidad									X
Satisfacción del cliente								X	X
Trabajadores más competentes							X		
Personal más motivado							X		
Optimización de recursos							X		
Mejor relación con el personal							X		X

2. METODOLOGÍA

De las 140 empresas pequeñas, medianas y grandes de la industria alimentaria, ubicadas en el estado de Aguascalientes, de acuerdo con el *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* (DENUE) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], s. f.-a), 17 contaban con dos o más sistemas integrados.

Los datos generales recopilados de las empresas fueron sobre (1) los sistemas de gestión implantados; (2) los sistemas de gestión certificados; (3) la metodología utilizada para la integración de sistemas de gestión —considerando las identificadas por Abad et al. (2011) y Bernardo et al. (2015): mapa de procesos, un análisis detallado de los elementos, un modelo propio de implantación y el ciclo de Deming—; y (4) razones por las que las empresas no tienen certificados sus sistemas de gestión.

Las variables estudiadas fueron los niveles de integración de los SIG y los beneficios de la integración de sistemas de gestión. Los sistemas de gestión considerados fueron inocuidad, calidad, salud y seguridad en el trabajo, ambiente y responsabilidad social.

Los niveles de integración de sistemas de gestión se evaluaron en las tres dimensiones propuestas: armonización documental, integración parcial e integración completa. A la dimensión de integración parcial, se le agregaron dos indicadores basados en la estructura de alto nivel de los estándares ISO y referidos a la mejora del sistema de gestión y la gestión de recursos. Los indicadores sobre los beneficios de la integración de sistemas de gestión también fueron adoptados de Abad et al. (2014) y coinciden con algunos de los utilizados por Almeida et al. (2014), Bernardo et al. (2015), Douglas y Glen (2000), Salomone (2008), Simon et al. (2012), Simon y Douglas (2013) y Zeng et al. (2011).

3. RESULTADOS

Los datos se recopilaron mediante un cuestionario aplicado, entre octubre del 2022 y mayo del 2023, a un empleado de cada empresa con responsabilidades en el sistema de gestión. El cuestionario contó con treinta y dos reactivos. La Tabla 3 muestra los indicadores utilizados para medir las dos variables. Los reactivos con los que se midió el nivel de integración de los SIG (variable 1) fueron dicotómicos y sus valores posibles fueron de integrado y no integrado. Los reactivos empleados para medir los beneficios de la integración de sistemas de gestión (variable 2) fueron de tipo Likert de cinco puntos. Tales valores son los siguientes: ninguna mejora, mejora baja, mejora media, mejora alta y mejora muy alta. El cuestionario fue validado por cuatro expertos en el tema. Su confiabilidad fue analizada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, cuyos valores se encontraron entre 0,57 y 0,92.

Tabla 3

Indicadores de los niveles de integración de los SIG y los beneficios de la integración

Variable	Dimensiones	Indicadores (reactivos)	Coeficiente alfa de Cronbach
Niveles de integración de los SIG	Armonización documental	La gestión de acciones preventivas y correctivas	0,89
		La gestión de no conformidades	
		La gestión de la documentación	
	Integración parcial	El establecimiento y planificación de objetivos	0,62
		La revisión del sistema por parte de la dirección	
		El seguimiento y medición de resultados	
		La mejora del sistema	
		La gestión de los recursos	
	Integración completa	Las auditorías internas	0,71
		Las auditorías de certificación	
Beneficios de la integración de sistemas de gestión	Fuerza laboral	Mejora de la competencia de los trabajadores	0,56
		Mayor participación de los trabajadores	
		Mayor motivación del personal	
	Organizacionales	Mejora de la comunicación interna	0,86
		Mayor capacidad para consecución de objetivos	
		Disminución de burocracia	
		Disminución de costes de las auditorías internas	
		Mayor optimización de los recursos	0,92
	Desempeño	Mejora calidad de productos o servicios	
		Ventaja competitiva en el mercado	
		Mejor imagen externa de la organización	

Se clasificaron a las empresas encuestadas de acuerdo con el mercado mundial de la industria de alimentos (Balderas Martínez, 2013; Macazaga & Ramírez de Arellano, 2015) y la clasificación de la industria de alimentos y bebidas en México elaborada por el INEGI en el 2018 (CIAL Dun & Bradstreet, 2018). El mayor porcentaje (47 %) correspondió a las empresas de la categoría de alimentos procesados congelados o refrigerados; el 24 %, a empresas de categoría láctea; en tercer lugar, el 6 % a cada una de las siguientes cinco categorías: (1) panadería, (2) alimentos procesados y deshidratados, (3) salsas, aderezos y condimentos, (4) helados y (5) bebidas.

En cuanto a su antigüedad, la mayor frecuencia (29 %) se encontró en las que tenían nueve o más años. Respecto al tamaño, el 18 % tenía entre 11 y 50 empleados; el 29 %,

entre 51 y 250; y el 53 %, más de 250. De acuerdo con el DENUE (INEGI, s. f.-a), las primeras se categorizan como pequeñas, las segundas como medianas y las terceras como grandes.

3.1 Sistemas de gestión implantados y certificados

Como puede apreciarse en los sistemas de gestión implantados y certificados por empresa, el 94,1 % cuenta con la implementación y certificación de un sistema de gestión de inocuidad, como era de esperarse, dada la actividad económica de las empresas estudiadas (véanse las tablas 4, 5 y 6).

Tabla 4

Sistemas de gestión implantados y certificados

Empresa	Sistemas de gestión implantados					Sistemas de gestión implantados certificados				
	SI	SC	SS	SA	SR	SI	SC	SS	SA	SR
	X	X	X	X		X				
	X	X	X			X				
		X	X	X			X	X	X	
	X	X	X	X		X				
	X	X	X			X				
	X	X			X	X				
	X	X	X			X				
	X		X		X	X	X	X		
	X	X				X				
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X				X				
	X	X	X	X		X	X	X	X	
	X	X				X				
	X	X				X				
	X	X				X	X			
	X	X				X				
	X	X				X	X			
Total	16	16	9	5	3	16	6	4	3	1
Porcentaje	94,10	94,10	5,90	29,40	17,60	94,10	35,20	23,50	17,64	5,80

Nota. SI: sistema de gestión de inocuidad. SC: sistema de gestión de la calidad. SS: sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. SA: sistema de gestión ambiental. SR: sistema de gestión de responsabilidad social.

El 41,2 % cuenta solo con dos sistemas integrados: el sistema de gestión de la inocuidad y el sistema de gestión de la calidad (véase la Tabla 5). El 23,5 % cuenta, además, tanto con el sistema de seguridad y salud en el trabajo como con el sistema de gestión ambiental. No todos los sistemas de gestión evaluados son estándares ISO. Los sistemas de inocuidad pueden ser los siguientes: ISO 22 000, FSSC 22 000, HACCP, PRIMUS GFS, SQF Code, GLOBALGAP, GRMS, IFS food, BRC o Normas Mexicanas (NOM de Higiene), como la NOM-251-SSA1-2009.

Tabla 5

Sistemas de gestión implantados

Siglas de los sistemas de gestión	Sistemas de gestión	Cantidad	Porcentaje
SI SC	Inocuidad	7	41,2
	Calidad		
SI SC SS SA	Inocuidad	4	23,5
	Calidad		
	Salud en el trabajo		
	Ambiental		
SI SC SS	Inocuidad	3	17,6
	Seguridad y salud en el trabajo		
	Calidad		
SC SS SA	Calidad	1	5,9
	Seguridad y salud en el trabajo		
	Ambiental		
SI SC SR	Inocuidad	1	5,9
	Seguridad y salud en el trabajo		
	Responsabilidad social		
SI SS SR	Inocuidad	1	5,9
	Seguridad y salud en el trabajo		
	Responsabilidad social		
Total		17	100,0

La Tabla 6 muestra los sistemas implantados integrados certificados. El más frecuente, con un 64,7 %, es el sistema de gestión de inocuidad, seguido del 11,8 % de las empresas que certifican tanto su sistema de gestión de inocuidad y su sistema de gestión de calidad.

Tabla 6

Sistemas implantados certificados

Siglas de los sistemas de gestión	Sistemas de gestión implantados certificados	Porcentaje
SI	Inocuidad	64,7
SI SC	Inocuidad	11,8
	Calidad	
SI SC SS	Inocuidad	5,9
	Calidad	
	Seguridad y salud en el trabajo	
SI SC SS SA	Inocuidad	5,9
	Calidad	
	Seguridad y salud en el trabajo	
	Ambiental	
SI SS SA SR	Inocuidad	5,9
	Seguridad y salud en el trabajo	
	Ambiental	
	Responsabilidad social	
SC SS SA	Calidad	5,9
	Seguridad y salud en el trabajo	
	Ambiental	
Total		100,0

3.2 Metodologías de integración utilizadas

La metodología de integración más frecuente utilizada por el 41% de las empresas fue el análisis detallado de los elementos comunes (véase la Tabla 7), lo cual coincide con el hallazgo, a este respecto, de Bernardo et al. (2017).

Tabla 7

Metodologías de integración

Metodología de integración utilizada	Porcentaje
Mapa de procesos	5,9
Un análisis detallado de los elementos	41,2
Un modelo propio de implantación	29,4
El ciclo de Deming (PHVA)	23,5
Total	100,0

Nota. PHVA: método planificar-hacer-verificar-actuar.

3.3 Razones para no certificar los sistemas de gestión

La razón más frecuente por la que las empresas no certifican sus sistemas de gestión fue, con un 47,1 %, por la no exigencia por parte del cliente o partes interesadas (véase la Tabla 8).

Tabla 8

Razones de la falta de certificación

Razones	Porcentaje de empresas
No se cree necesario	11,8
No hay exigencia por parte del cliente o partes interesadas	47,1
Los requerimientos de certificación son demasiados altos	29,4
Otro	11,8
Total	100,0

En la Figura 1 se han detallado los porcentajes de las frecuencias de los indicadores con los que se midieron los niveles de integración de los SIG. Los indicadores que más se integran son la gestión de no conformidades y la gestión de la documentación como puede apreciarse en la frecuencia de un 94 % que ambas presentan seguidas, y con un 88 % de la integración de la gestión de acciones preventivas y correctoras. Esos resultados eran esperados debido a que los tres indicadores corresponden al nivel de armonización documental (nivel 1), que requiere ser cubierto para alcanzar los otros niveles (véase la Tabla 9).

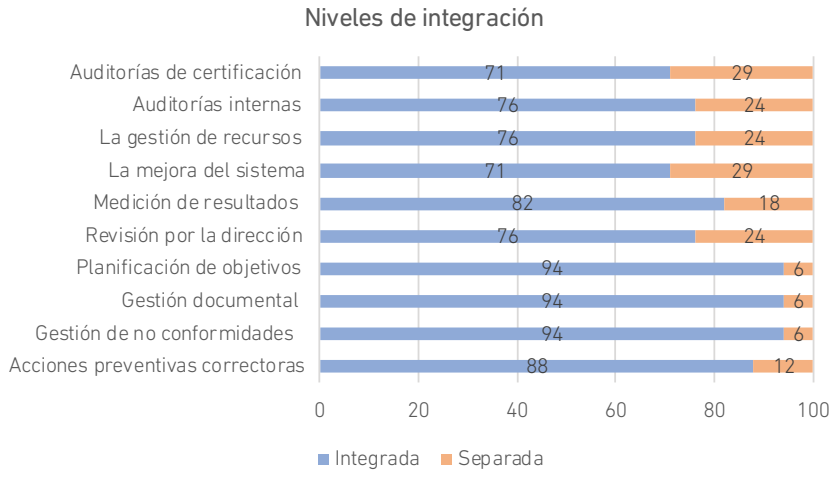
Tabla 9

Frecuencias de los niveles de integración de los sistemas de gestión

Variable	Dimensiones	Integrado (porcentaje de empresas)	No integrado (porcentaje de empresas)
Niveles de integración de los SIG	Armonización documental	92,10	7,86
	Integración parcial	80,20	19,90
	Integración completa	73,55	26,45

Figura 1

Niveles de integración de las empresas



Los más altos beneficios derivados de la integración de sistemas, con un 54,50 % de frecuencia (véase la Tabla 10), se encontraron en la dimensión de beneficios de desempeño. Esto muestra que las empresas de la industria alimentaria estudiada obtienen más estos beneficios en la optimización de recursos, calidad de productos y servicios, ventaja competitiva en el mercado y mejor imagen externa de la organización, que en las dimensiones de la fuerza laboral y en las de beneficios organizacionales, cuyas frecuencias en las categorías de beneficios altos fueron del 47 % y 44,25 %, respectivamente.

Tabla 10

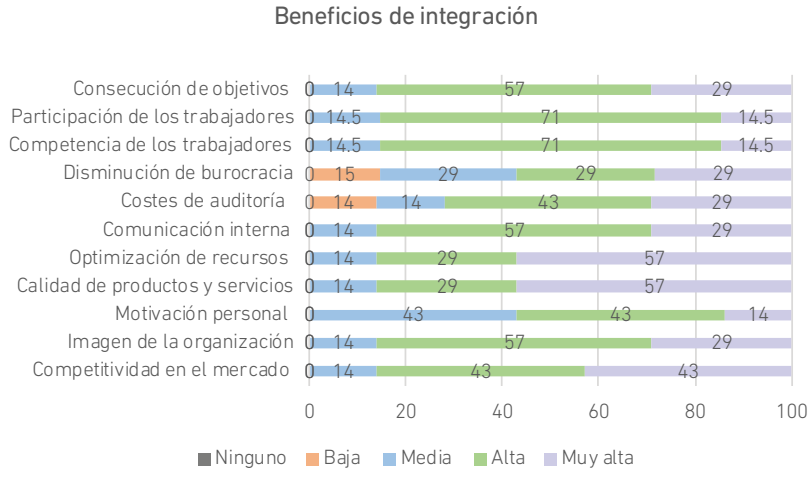
Frecuencia de los beneficios obtenidos de la integración

Dimensiones	Beneficios obtenidos (Porcentaje de empresas)				
	Ninguno	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Beneficios de fuerza laboral	0,00	2,00	29,60	47,00	22,00
Beneficios organizacionales	3,00	10,20	20,75	44,25	22,50
Beneficios de desempeño	3,00	3,00	9,00	31,00	54,50

La Figura 2 detalla los porcentajes de las frecuencias de los indicadores con los que se midieron los beneficios obtenidos de la integración del SGC y SIG que fueron los sistemas de gestión más frecuentes, tanto en su implantación como en la integración de sistemas. Como puede apreciarse, el 57 % de beneficios muy altos corresponde a la optimización de los recursos y la calidad de productos y servicios, seguido de un 43 % en la ventaja competitiva en el mercado.

Figura 2

Beneficios de la integración del sistema de gestión de calidad y el sistema integrado de gestión



3.4 Relaciones entre los indicadores de la integración de sistemas de gestión con los beneficios obtenidos

Solamente se encontraron las correlaciones con significación estadística entre el indicador auditorías internas de la variable niveles de integración y con cinco de los indicadores de la variable beneficios obtenidos (véase la Tabla 11).

Tabla 11

Correlaciones de indicadores de la integración de sistemas de gestión con los beneficios obtenidos

		Beneficios de fuerza laboral		Beneficios organizacionales	Beneficios de desempeño	
		Mayor participación de los trabajadores	Mayor motivación del personal	Disminución de la burocracia	Mayor optimización de los recursos	Mejora de la calidad de los productos o servicios
Auditorías internas	Correlación de Rho de Spearman	0,742**	0,678*	0,595*	0,588*	0,681*
	Sig. (bilateral)	0,004	0,011	0,032	0,034	0,010
	N	17	17	17	17	17

Nota. * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Los coeficientes de correlación fueron cercanos entre sí y se encontraron entre 0,588 y 0,742. Este resultado parece indicar que es necesario que el nivel de integración avance hasta las auditorías para que los beneficios se concreten.

4. DISCUSIONES

Se puede pensar que no se encontró una correlación de las variables, debido a que el número de casos es pequeño por lo que se dificultan los análisis estadísticos.

A diferencia de otros investigadores como Abad et al. (2014), quienes hallaron una correlación entre todos los indicadores de beneficios de integración con los diferentes niveles de integración, lo que es una correlación con valores medios, cabe mencionar que la muestra estudiada por Abad fue mayor que la obtenida en este estudio, con un total de 102 casos.

También se halló que las empresas contaban con altos niveles de integración y, a pesar de ello, no tenían una integración uniforme, a diferencia de los hallazgos de Abad et al. (2014) en donde las empresas se encontraban en categorías específicas. En otros hallazgos de esta investigación, se pudo observar que los indicadores que más se integran son la gestión de no conformidades y la gestión de la documentación, tal como puede apreciarse en la frecuencia de un 94 % que ambas presentan, seguidas del 88 % de la integración de la gestión de acciones preventivas y correctoras. Esos resultados eran esperados debido a que los tres indicadores corresponden al nivel de armonización documental (nivel 1) que requiere ser cubierto para alcanzar los siguientes.

Los más altos beneficios derivados de la integración de sistemas, con un 54,5 % de frecuencia, se encontraron en la dimensión de beneficios de desempeño. En esta, se muestra que las empresas de la industria alimentaria tienen mayor optimización de recursos, mejor calidad de productos y servicios, mayor ventaja competitiva en el mercado y mejor imagen externa de la organización, que en las dimensiones de beneficios de la fuerza laboral y en la de beneficios organizacionales, cuyas frecuencias en las categorías de beneficios altos fueron del 47 % y 44,25 %, respectivamente.

Por otro lado, en la investigación realizada por Abad et al. (2014), también se obtuvo mayor apreciación de los beneficios organizaciones. Esto es posible debido a que son beneficios internos, es decir, están directamente relacionados con la organización y suelen ser los que se presentan primero en las organizaciones al integrar sus sistemas de gestión. También se pudo apreciar que los beneficios obtenidos de la integración del SGC y del SIG fueron los sistemas de gestión más frecuentes, tanto en su implantación como en la integración de sistemas. Los beneficios más altos resultaron con una mayor optimización de los recursos, la calidad de productos y servicios, seguidos de ventaja competitiva en el mercado, los cuales son, de igual forma, beneficios organizacionales,

pero estos se presentaban con mayor porcentaje a diferencia de las empresas que integraban diferentes sistemas de gestión al de calidad e inocuidad.

La metodología de integración más frecuente, utilizada por el 41 % de las empresas, fue el análisis detallado de los elementos comunes (véase la Tabla 7). Esto coincide con el hallazgo, a este respecto, de Bernardo et al. (2017). Además, pudo deberse a que al elegir un sistema de gestión entre la diversidad de estándares sobre inocuidad —como la ISO 22000, FSSC 22000, HACCP, PRIMUS GFS, SQF Code, GLOBALG.AP, GRMS, IFS food, BRC global—, las empresas optan por el que les solicitan sus clientes u otras partes interesadas, el que consideran más accesible o el que tiene mayor reconocimiento internacional o, en el caso de las empresas exportadoras, el que los vincula mediante acuerdos comerciales con grupos de grandes minoristas que requieren estándares específicos y no necesariamente a estándares de la familia ISO (Rincon-Ballesteros et al., 2019), a diferencia de lo que hacen otras industrias como la automotriz, metalmecánica y textil.

5. CONCLUSIONES

A pesar de que las empresas contaban con integración de los niveles más altos de integración, no presentaban una integración uniforme de todos los indicadores, contrariamente a lo esperado que, al contar con la integración de un tercer nivel de integración, tales empresas tuvieran una integración completa de los componentes de los niveles de integración uno y dos. Posiblemente, esa situación se debe a que uno de sus sistemas de gestión principal es el sistema de gestión de inocuidad, en el que no en todas las empresas corresponde a un estándar ISO, por lo que no tienen la estructura de alto nivel que caracteriza a este, lo que podría estar dificultando la integración.

Dado que la mayor parte de las empresas estudiadas tiene integrado su SIG con su SIC, obtienen beneficios de desempeño altos. Además, dadas las dificultades para asegurar que se detectaron en todas las empresas de la población que contaban con SIG, no es posible generalizar los resultados más allá de las empresas estudiadas.

Finalmente, con la divulgación de este trabajo se espera contribuir a que las empresas de la industria alimentaria valoren la implementación de más de un sistema de gestión para apoyar la mejora de los procesos de su organización en todas las dimensiones de su fuerza interna, procesos internos y su desempeño para satisfacer a sus partes interesadas. Queda pendiente ampliar este estudio en la población de empresas de otros estados mexicanos. También queda por realizar la comparación entre tamaños diferentes de empresas y con otras industrias en el que los sistemas de gestión relevantes sean diferentes a los de inocuidad, a fin de identificar patrones que guíen a las empresas que aún no son practicantes de los SIG.

6. REFERENCIAS

Abad, J. (2011). *Implicaciones de la integración de los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente y seguridad y salud laboral basado en estándares internacionales* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya]. CORA. Tesis Doctorals en Xarxa. http://hdl.handle.net/10803/48635

Abad, J., Dalmau, I., & Vilajosana, J. (2014). Taxonomic proposal for integration levels of management systems based on empirical evidence and derived corporate benefits. *Journal of Cleaner Production*, *78*, 164-173. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.084

Almeida, J., Domingues, P., & Sampaio, P. (2014). Different perspectives on management systems integration. *Total Quality Management & Business Excellence*, *25*(3-4), 338-351. https://doi.org/10.1080/14783363.2013.867098

Balderas Martínez, A. (2013). *Alimentos procesados.* ProMéxico. https://embamex.sre.gob.mx/rusia/images/stories/Comercio/procesadospromexico.pdf

Beckmerhagen, I. A., Berg, H. P., Karapetrovic, S. V., & Willborn, W. O. (2003). Integration of management systems: focus on safety in the nuclear industry. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *20*(2), 210-228. https://doi.org/10.1108/02656710310456626

Bernardo, M., Casadesus, M., Karapetrovic, S., & Heras, I. (2009). How integrated are environmental, quality and other standardized management systems? An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, *17*(8), 742-750. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.003

Bernardo, M., Gianni, M., Gotzamani, K., & Simon, A. (2017). Is there a common pattern to integrate multiple management systems? A comparative analysis between organizations in Greece and Spain. *Journal of Cleaner Production*, *151*, 121-133. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.036

Bernardo, M., Simon, A., Tarí, J. J., & Molina-Azorín, J. F. (2015). Benefits of management systems integration: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, *94*, 260-267. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.075

CIAL Dun & Bradstreet. (2018). *Análisis de la industria de alimentos y bebidas México*. https://www.cialdnb.com/pdf/economic-analysis/food-and-beverages/MEX_Economic-Analysis_ES.pdf

DataMÉXICO. (s. f.). *Industria alimentaria*. *Subsector (311)*. Gobierno de México. https: economía.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/food-manufacturing.

DESDElared. (2023, 14 de febrero). *La producción manufacturera de Aguascalientes, en los niveles del 2019*. https://www.desdelared.com.mx/noticias/2023/01-noticias/0214-la-produccion-manufacturera-de-aguascalientes-en-los-niveles-del-2019.html

Douglas, A., & Glen, D. (2000). Integrated management systems in small and medium enterprises. *Total Quality Management*, *11*(4-6), 686-690. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09544120050008075

Esquer-Peralta, J., Velazquez, L., & Munguia, N. (2008). Perceptions of core elements for sustainability management systems (SMS). *Management Decision*, *46*(7), 1027-1038. https://doi.org/10.1108/00251740810890195

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-a). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-b). *Por actividad económica*. https://www.inegi.org.mx/temas/pib/

Jørgensen, T., Remmen, A., & Mellado, M. (2006). Integrated management systems - three different levels of integration. *Journal of Cleaner Production, 14*(8), 713-722. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.04.005

Karapetrovic, S. (2003). Musings on integrated management systems. *Measuring Business Excellence*, *7*(1), 4-13. https://doi.org/10.1108/13683040310466681

Macazaga, R., & Ramírez de Arellano, R. (Eds.). (2015). *Guía de la industria química / Industria minera*. Editorial Cosmos.

Méndez, A. (2020, 1 de junio). Aguascalientes incrementa ventas de la industria manufacturera. *Mexico Industry*. https://mexicoindustry.com/noticia/-aguascalientes-incrementa-ventas-de-la-industria-manufacturera#:~:text=Derivado%20de%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20equipo%20de%20transporte%2C%20Aguascalientes%20se,por%20el%20Instituto%20Nacional%20de

Mora-Contreras, R. (2019). Sistemas integrados de gestión de las normas ISO 9001 e ISO 30301 en el contexto notarial colombiano. *Estudios Gerenciales*, *35*(151), 203-218. https://doi.org/10.18046/j.estger.2019.151.3248

Paraschivescu, A., Urban, V., & Bordeianu, G. (2022). Integrated management systems in public administration. *Economy Transdiciplinarity Cognition*, *25*(1), 16-25. https://ezproxy.ulima.edu.pe/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/integrated-management-systems-public/docview/2765926945/se-2

Pojasek, R. B. (2006). Is your integrated management system really integrated? *Enviromental Quality Management*, *16*(2). https://doi.org/10.1002/tqem.20124

Rincon-Ballesteros, L., Lannelongue, G., & González-Benito, J. (2019). Implementation of the Brc food safety management system in Latin American countries: motivations and barriers. *Food Control, 106*. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106715

Salomone, R. (2008). Integrated management systems: experiences in Italian organizations. *Journal of Cleaner Production, 16*(16), 1786-1806. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.003

Simon, A., & Douglas, A. (2013). Integrating management systems: does the location matter? *International Journal of Quality & Reliability Management, 30*(6), 675-689. https://doi.org/10.1108/02656711311325629

Simon, A., Bernardo, M., Karapetrovic, S., & Casadesus, M. (2013). Implementing integrated management systems in chemical firms. *Total Quality Management & Business Excellence, 24*(3-4), 294-309. https://doi.org/10.1080/14783363.2012.669560

Simon, A., Karapetrovic, S., & Casadesus, M. (2012). Evolution of integrated management systems in Spanish firms. *Journal of Cleaner Production*, *23*(1), 8-19. Ebsco. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.025

Wilkinson, G., & Dale, B. G. (1999). Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *TQM Magazine, 11*(2), 95-104. https://doi.org/10.1108/09544789910257280

Zeng, S. X., Xie, X. M., Tam, C. M., & Shen, L. Y. (2011). An empirical examination of benefits from implementing integrated management systems (IMS). *Total Quality Management & Business Excellence*, *22*(2), 173-186. https://doi.org/10.1080/14783363.2010.530797

¿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 1972 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 (Demírkol & 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 Baldridge 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.

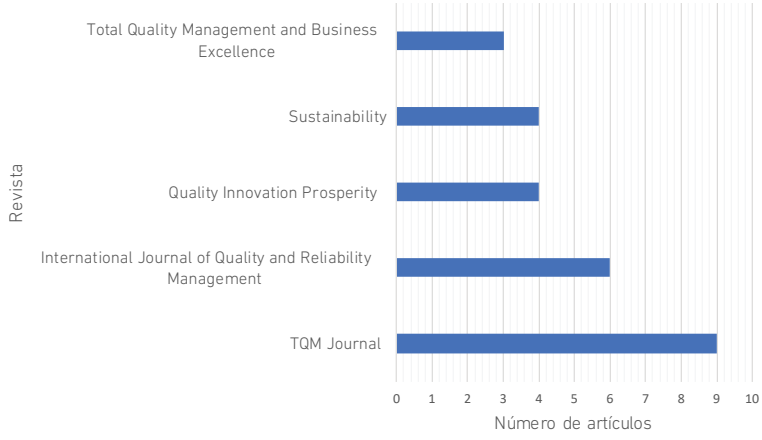
3. RESULTADOS

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

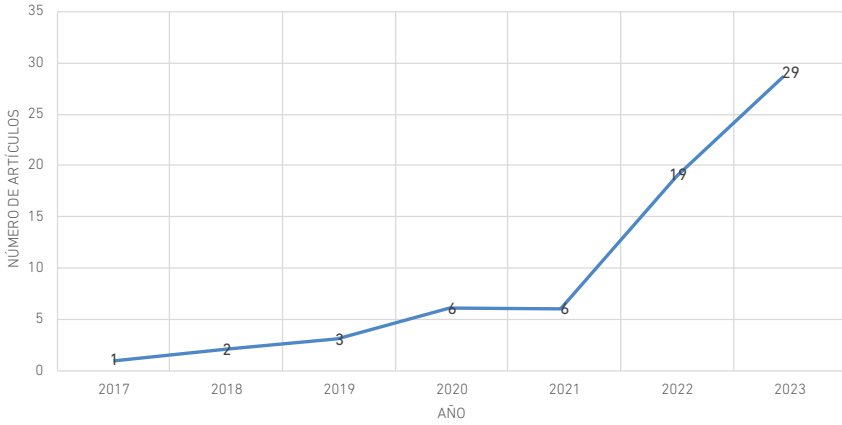


3.2 Análisis de contenido

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 *big data*, 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 maquinaría 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, escabilidad, 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 adminstración, 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, escabilidad, 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 escabilidad.
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 *software* 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/j.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., & Doulatabadi, 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

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

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.

Demírkol, 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 Bussiness 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

Propuesta de economía circular para la gestión de residuos de café en cafeterías de la ciudad de Lima en Perú

Bertha Díaz-Garay*
https://orcid.org/0000-0002-8409-3210
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería,
Lima, Perú

Giancarlo Medroa Delgado
https://orcid.org/0000-0003-0175-0973
Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas,
Lima, Perú

José Antonio Taquía Gutiérrez
https://orcid.org/0000-0002-1711-6603
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería,
Lima, Perú

Juan M. Coriat Nugent
https://orcid.org/0000-0003-1248-7138
Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas,
Lima, Perú

Recibido: 6 de marzo del 2024 / Aceptado: 16 de abril del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.7010

RESUMEN. El procesamiento del café para el consumo en cafeterías genera importantes cantidades de residuos, principalmente, cascarillas de café que, al ser tostadas, molidas y pasadas por las máquinas cafeteras, generan café gastado. Entonces, el problema es que no se cuenta con una adecuada gestión de dichos residuos ni son cuantificados; por ello, en este artículo se busca identificar alternativas de solución frente a tal problemática.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: Bdiaz@ulima.edu.pe; gmeddel@ulima.edu.pe; Jtaquia@ulima.edu.pe; jcoriat@ulima.edu.pe

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

Este estudio tiene un alcance exploratorio, para lo cual se utiliza una encuesta con una muestra obtenida por conveniencia de 18 cafeterías, de los cuales se obtuvo información sobre el interés de participar en un modelo de recolección de residuos de café. Asimismo, se utilizó un modelo de conglomerados para identificar la mejor manera de recolectar los residuos, para ello se determinó la ubicación de 72 cafeterías en la zona de estudio. Como resultado, se concluye que existe interés en la reutilización del café gastado aplicando un adecuado modelo de recojo de residuos por conglomerados.

PALABRAS CLAVE: economía circular / café gastado / gestión de residuos / *clusters*

CIRCULAR ECONOMY PROPOSAL FOR THE MANAGEMENT OF COFFEE WASTE IN COFFEE SHOPS IN THE CITY OF LIMA IN PERU

ABSTRACT. The processing of coffee for consumption in cafeterias generates significant amounts of waste, mainly coffee husks that, when roasted, ground and passed through coffee machines, generate spent coffee. The problem found is that there is no adequate management of this waste, nor are the waste generated quantified. This research seeks to identify alternatives to solve this problem. The research has an exploratory scope, using a survey with a convenience sample of 18 coffee shops, to obtain information about the interest in participating in a coffee waste collection model. Likewise, a cluster model was used to identify the best way to collect waste, for this the location of 72 cafeterias in the study area was determined. As a result, it is concluded that there is interest in the reuse of spent coffee by applying an appropriate waste collection model by conglomerates.

KEYWORDS: circular economy / spent coffee / waste management / clusters

1. INTRODUCCIÓN

El café es reconocido como una de las bebidas más consumidas a nivel mundial; además, contribuye a la rotación de la economía por ser un *commodity* con un alto nivel de comercialización (Garcia & Kim, 2021). El café es "una de las bebidas más populares y es el segundo producto comercial más importante después del petróleo" (Murthy & Madhava, 2012, p. 45). Es producido en más de ochenta países y, solo en Europa, que es el continente con mayor consumo de café per cápita, se consumen 2,52 millones de toneladas al año. Alrededor de este producto, se generan varios negocios para pequeñas y medianas empresas, por lo que este producto es determinante para el desarrollo económico de los países productores y consumidores. Sin embargo, el alto consumo de café también genera altos volúmenes de residuos orgánicos que son tóxicos y que representan un impacto en el medio ambiente (Mussatto et al., 2011); por ello, también se han explorado los esfuerzos para abordar el impacto medioambiental del consumo de café. Los estudios han evaluado las cuestiones de sostenibilidad a lo largo de la cadena del café y se ha hecho hincapié en la importancia de la certificación y en las prácticas sostenibles desde el cultivo hasta el consumo (Barreto Peixoto et al., 2023).

El procesamiento y consumo de café da lugar a cantidades sustanciales de residuos, principalmente, cáscara de las semillas de café que, al momento de tostarlo, molerlo y pasarlo en máquinas cafeteras, generan los residuos de café gastado: *spent coffee ground* (SCG). Por cada kilogramo de café pasado, se genera alrededor de dos kilogramos de SCG húmedo. De estos, alrededor del 46 % se vierte en los contenedores de basura, lo que aumenta la contaminación del suelo, el agua y el aire. Por lo tanto, es necesaria una solución alternativa para los grandes volúmenes de SCG (San Martin et al., 2021). El gran volumen de residuos de café generados a nivel mundial, estimado en más de dos millones de toneladas anuales, resalta la importancia de desarrollar estrategias eficaces de gestión de residuos dentro de la industria del café (Thriveni et al., 2017). Frente a ello, se afirma que la problemática de los SCG puede ser superada aplicando conceptos de la economía circular. Para ello, el análisis de las propuestas que resuelvan el problema directamente es de suma importancia para la sociedad y los modelos de negocio que se puedan desarrollar a raíz de estas propuestas (Ferasso et al., 2020).

Los SCG son una fuente importante de biorresiduos, pues tienen potencial para aplicarse de manera diversa y poder mitigar la contaminación ambiental. Por ejemplo, los estudios han demostrado que los SCG pueden utilizarse como fuente de energía verde, y es el biodiésel derivado de ellos una alternativa prometedora frente al diésel tradicional (Kondamudi et al., 2008). Además, la extracción de antioxidantes y compuestos fenólicos de los SCG demuestra su valor en la elaboración de productos beneficiosos (Panusa et al., 2013). Por otra parte, la aplicación de una economía circular contribuye a la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, y desempeña un papel crucial en la

transformación de los procesos lineales a procesos sostenibles y circulares (Blomsma & Brennan, 2017).

En relación con lo anterior, este trabajo de investigación tiene como objetivo proponer un sistema de logística inversa de residuos para la recolección de los residuos de café gastado (SCG) generados en cafeterías de la ciudad de Lima en Perú, aplicando los principios de la economía circular. La logística inversa es un componente esencial de la economía circular que permite la gestión sostenible de los recursos mediante prácticas como la reducción, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de productos al final de su ciclo de vida. Diversos trabajos académicos han destacado la importancia de la logística inversa y de las cadenas de suministro para promover prácticas sostenibles en las cadenas de suministro (Govindan et al., 2015). Además, se ha explorado el potencial de los principios de la economía circular en la logística y la gestión de la cadena de suministro, ofreciendo ideas sobre el desarrollo de cadenas de suministro y logística inversa circulares (Ripanti & Tjahjono, 2019). Esto confirma que la logística inversa contribuye significativamente a los principios de la economía circular cuando se promueve el uso eficiente de los recursos y la reducción de residuos.

Por otro lado, para construir el marco referencial de este estudio, se consultó la base de datos Scopus con las siguientes palabras clave: *coffee* y *circular economy*. Se encontraron 230 artículos indexados que abordan estas variables y las relaciones entre ellas (véase la Figura 1).

Figura 1

Resultado del análisis bibliométrico (primera búsqueda)



Nota. Elaborado con el análisis bibliométrico de 230 artículos científicos de la base de datos Scopus.

En la Figura 1 se aprecia la relación entre economía circular vinculada al café y los estudios que analizan los SCG. En una segunda búsqueda bibliométrica en la base de datos Scopus, se utilizaron las siguientes palabras clave: *spent coffee ground* y *circular economy*. Se encontraron 103 artículos indexados que abordan estos temas y las relaciones entre ellas (véase la Figura 2).

Figura 2

Resultado del análisis bibliométrico (segunda búsqueda)

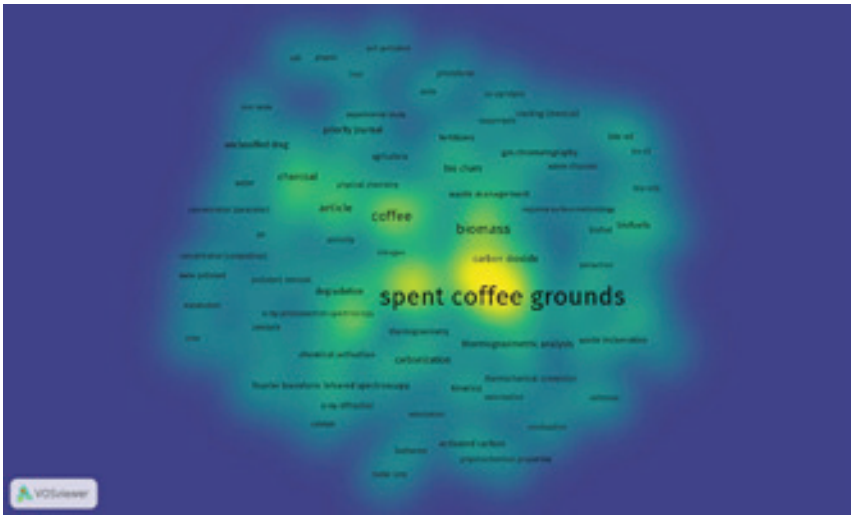


Nota. Elaborado con el análisis bibliométrico de 103 artículos científicos de la base de datos Scopus.

En la Figura 2 se evidencia la relación entre la economía circular vinculada al café y los estudios que analizan los SCG con una técnica de conversión de residuos llamada pirólisis. Esta técnica es un proceso mediante el cual un sólido (o un líquido) sufre una degradación térmica en moléculas volátiles más pequeñas, sin interactuar con el oxígeno ni con ningún otro oxidante (Klug, 2012). En una tercera búsqueda bibliométrica en Scopus, se utilizaron las siguientes palabras clave: *spent coffee ground* y *pyrolysis.* En dicha búsqueda se encontraron 160 artículos indexados que abordan estos temas y las relaciones entre ellas (véase la Figura 3).

Figura 3

Resultado del análisis bibliométrico (tercera búsqueda)



Nota. Elaborado con el análisis bibliométrico de 160 artículos científicos de la base de datos Scopus.

En la Figura 3 se evidencia la relación entre los SCG y las energías renovables. En una revisión sistemática, por ejemplo, se indica que los SCG pueden ser el insumo para la elaboración de vasos descartables y otras formas de paquetes utilizados en diversas industrias (Garcia & Kim, 2021).

1.1 Residuos de café gastado y su potencial utilización

Luego de desarrollar el análisis bibliométrico de los residuos de café y su potencial uso en diversas industrias, se aprecia diversas oportunidades donde dichos residuos serían de gran utilidad para la economía local. Los usos potenciales de los residuos del café van desde energía hasta nutracéuticos y materiales de construcción (McNutt & He, 2019). A su vez, se afirma que, a partir de estos residuos, se puede desarrollar biodiésel, bioaceites y biocarbón (Leow et al., 2021). Estos productos derivados representan una oportunidad para que los negocios de cafeterías, adaptados a una economía lineal, giren hacia una economía circular, en la que una adecuada gestión de residuos convierta desechos en productos o recursos nuevos para la misma u otras industrias (Stahel, 2016).

Por su parte, el biodiésel es una alternativa de energía renovable para diversas industrias y se estima que, si se recolecta todos los residuos de café gastados en el mundo, se podría producir 340 millones de galones de biodiésel (Kondamudi et al., 2008). Esta conversión de los residuos de café gastados para terminar en biodiésel

se realiza mediante un proceso químico orgánico llamado transesterificación (Park et al., 2016). Los SCG también pueden ser usados como componente principal para la elaboración de *pellets*, los cuales se utilizan como un combustible ecológico (Bottani et al., 2019; Lisowski et al., 2019), como un componente para la elaboración de baterías de iones (Luna-Lama et al., 2019). Otros productos de energías renovables que se pueden desarrollar utilizando como componente los SCG son el carbón activado (Rufford et al., 2008) y el biocarbón, también conocido como carbón natural (Tongcumpou et al., 2019). En general, los SGC son residuos potenciales para la industria de la bioenergía (Zuorro & Lavecchia, 2012).

Los SCG también pueden ser utilizados en otras industrias como la industria de la construcción. Además, se confirma que este residuo sirve como componente para la producción de geopolímeros utilizados en la industria de la construcción (Kua et al., 2016). Incluso, los SCG funcionan como fuente de recursos para el potencial funcionamiento de la planta de biorefinería (Mata et al., 2018). Por otro lado, los SCG han sido testeados para la eliminación de colorantes catiónicos en tratamientos de aguas residuales y se ha comprobado su efectividad (Franca et al., 2009).

Los SCG han sido identificados como una fuente natural de fibra insoluble antioxidante, aminoácidos esenciales y azúcares de bajo índice glucémico, que son resistentes al procesamiento térmico de los alimentos y a la digestión, destacando su seguridad y valor nutricional (Martinez-Saez et al., 2017). Los SCG han sido ampliamente estudiados por sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria como fuente natural de antioxidantes, aminoácidos, azúcares de bajo índice glucémico y beneficios para la salud en general. Los SCG contienen una variedad de compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes como el ácido clorogénico y polifenoles, los cuales los hacen adecuados para su uso en suplementos nutricionales, alimentos y aditivos cosméticos (Badr et al., 2022).

Además, los SCG han sido explorados en estudios centrados en la utilización de estos residuos del café como fuente natural de antioxidantes en la industria nutracéutica y alimentaria (Castaldo et al., 2021). El consumo moderado de café se ha asociado con efectos positivos para la salud, lo que apoya aún más los beneficios potenciales de la incorporación de SCG en productos alimenticios (Franca et al., 2009). También se ha descubierto que los SCG contienen nutrientes como proteínas, lípidos y minerales, lo que los convierte en un ingrediente versátil para el procesamiento de alimentos (Trà et al., 2021).

Químicamente, los SCG son ricos en ácidos grasos, aminoácidos, polifenoles, minerales y polisacáridos, lo que mejora su perfil nutricional y propiedades funcionales (Osorio-Arias et al., 2022). Los extractos de SCG han mostrado una actividad antioxidante prometedora para los aceites comestibles, lo que indica su potencial como antioxidantes naturales para diversos productos alimenticios (Hwang et al., 2019). En general, las investigaciones apoyan la afirmación de que los SCG son una valiosa fuente natural de

antioxidantes, aminoácidos y compuestos que promueven la salud en general, lo que los convierte en un ingrediente prometedor para la industria alimentaria.

1.2 Gestión de residuos

En todo modelo de economía circular, una etapa indispensable es la recolección y optimización de los subproductos obtenidos para desarrollar una extensión de la vida útil del producto. La tecnología aplicada a la recolección puede ser categorizada en tres niveles: orientada a la eficiencia, al producto transportado y al volumen de recolección. En el trabajo de Bottani et al. (2019), se describe el rol de la tecnología de información para recuperar los restos de café de máquinas expendedoras y su aprovechamiento en la obtención de biocombustibles. Se modela el volumen de recojo en forma determinística y se asignan factores de tiempos medios de traslado por distancia recorrida.

Por otro lado, con relación a la importancia de la flexibilidad de un diseño de cadena de abastecimiento orientado al café, Ramos et al. (2021) reportan los resultados de una encuesta que confirma la importancia de la agilidad en la cadena para los diferentes actores del mercado peruano. Los modelos para estudiar la recuperación de residuos van en un amplio espectro de alternativas. Para Roodt y Dempers (2020), los modelos de simulación son una herramienta muy útil cuando se desea analizar la complejidad de la interacción de los componentes de un sistema de recuperación de residuos. El campo de la logística de recojo se puede enmarcar en los diseños de operaciones de última milla (Orjuela-Castro et al., 2019; Ranieri et al., 2018), donde los principales retos están en la gestión de reducción de costos al evaluar tecnologías relacionadas a vehículos innovadores, puntos de visita cercanos y colaboración logística.

En esta línea, Naumov y Pawluś (2021) compararon métodos heurísticos y determinísticos para obtener la secuencia óptima de visitas en el contexto de la logística de última milla utilizando el transporte con bicicletas. Un factor importante que considerar es el momento donde ocurre el recojo, es decir, las ventanas de tiempo añaden una complejidad adicional al esfuerzo de modelar una secuencia de ruteo de recojo (Hagen & Scheel-Kopeinig, 2021). En la actualidad, muchas aplicaciones de ruteo utilizan interfaces de aplicaciones en la nube como una manera de responder a los cambios en el momento del ruteo de visita a los diversos locales (Muñoz-Villamizar et al., 2021a). Para autores como Karan et al. (2019), la ayuda de plataformas que utilizan tecnologías de georreferenciación, además de dar información descriptiva, al ser interactivas permiten al usuario manejar cambios de secuencias con rapidez.

Por lo tanto, una característica importante de la gestión de residuos es el tiempo de recojo y traslado a los centros de recolección. Especialmente, para residuos orgánicos, la rápida descomposición en algunos casos hace de esta etapa una actividad crítica debido al costo de la logística de recuperación (Baratsas et al., 2021). Entre los algoritmos

usados para este fin, destacan los algoritmos heurísticos de Clarke and Wright, las herramientas de investigación de operaciones (OR-Tools) de Google y el barrido aleatorio (Nazari et al., 2018). Como explican Simchi-Levi et al. (2014), los métodos de ruteo para recojo en puntos de venta requieren de métodos heurísticos cuando la demanda no es uniforme en cada lugar. Estas técnicas heurísticas abordan el problema por aproximación y buscan respetar la restricción de no superar la capacidad máxima de recojo del medio de transporte. Sobre ello, se pueden considerar cuatro categorías de métodos: (1) los constructivos, (2) los métodos de generación de rutas y posterior clusterización, (3) los métodos de clusterizar y rutear, (4) y los métodos de optimización aproximada incompleta. En este estudio se utilizó el método de clusterizar y rutear con demandas diferentes debido a que hace más sentido priorizar las cercanías de los locales y posterior desarrollo de la lógica de visitas.

2. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un diseño metodológico exploratorio. En la primera etapa, se aplicó una encuesta en línea para la obtención de información de la que participaron un total de dieciocho cafeterías. El instrumento utilizado consta de tres partes: en la primera de ellas, se busca conocer los datos del participante; la segunda parte está orientada a las características de la cafetería; mientras que la tercera trata sobre el interés en participar en un modelo de recojo de residuos de café.

El cuestionario incluyó las siguientes preguntas:

- ¿En cuál de las siguientes categorías se encuentra su negocio?
- ¿Cuál considera que es el perfil de su cliente?
- ¿Cuál de las siguientes presentaciones de café ofrece en su negocio?
- ¿Qué tipo de café utiliza en su negocio?
- ¿Qué volumen de café utiliza semanalmente su negocio?
- ¿Qué volumen de residuos de café genera aproximadamente por semana?
- ¿Qué destino tienen los residuos del café utilizado en su negocio?
- ¿Tiene conocimiento de los beneficios que pueden generar los residuos de café, por ejemplo, en la elaboración de otros productos, recogidos a través de algún mecanismo de gestión de residuos?
- ¿Tendría interés en donar los residuos de café provenientes de su negocio?
- De lo productos mencionados a continuación, todos ellos elaborados a partir de los residuos de café, ¿de cuál de ellos tiene conocimiento?

- De lo productos mencionados a continuación, todos ellos elaborados a partir de los residuos de café, ¿con cuál de ellos considera que podría beneficiarse económicamente su negocio?
- ¿Estaría interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café?
- ¿Estaría interesado en integrar a su negocio un *software* o aplicativo móvil para la gestión de los residuos de café?
- De estar interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café, ¿con qué frecuencia requeriría que se recojan los residuos?
- De estar interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café, ¿en qué horario le acomodaría que se recojan los residuos?

Para la etapa de análisis de recojo de residuos, se realizó una entrevista a David Gonzáles, coordinador de la Cámara Peruana de Café y Cacao de Lima Metropolitana (comunicación personal, 23 de septiembre del 2021), quien indicó que se tiene registradas una población aproximada de 98 cafeterías. A partir de ello, se definió un tamaño de muestra de población finita, con un valor del 95 % de nivel de confianza ($Z\alpha = 1{,}65$), las proporciones de selección ($p = 0{,}5$; $q = 0{,}5$) y la precisión de 5% ($d = 0{,}05$), para lo cual se obtuvo un tamaño de muestra de 72 ubicaciones de cafeterías con sus respectivas direcciones.

La fórmula 1 se utilizó para la determinación de la muestra (Santos Peñas, 2003, p. 236).

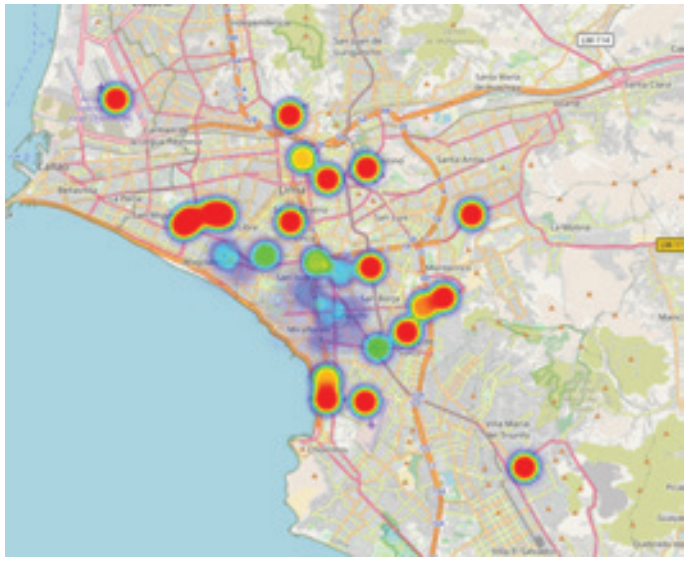
$$n = \frac{N * Z_a^2 \; p * q}{d^2 * (N-1) + Z_A^2 * p * q} \qquad (1)$$

Para esta etapa se adoptaron herramientas estadísticas y se llevó a cabo un análisis utilizando información geográfica de las 72 ubicaciones. Para ello, se utilizó el *software* QGis (en su versión 3.10.11), un *software* de libre disponibilidad para sistemas georreferenciados, como apoyo a la toma de decisiones de organizar, analizar y localizar datos geográficos.

En la tercera etapa, se desarrollaron modelos de conglomerados para identificar la mejor manera de recoger los residuos considerando las métricas de distancia media, distancia total y cantidad de kilogramos obtenidos. Los conglomerados se obtuvieron con la técnica de *k-means*, que agrupa las coordenadas de longitud y latitud en el conjunto de datos de las ubicaciones de las cafeterías (véase la Figura 4).

Figura 4

Ubicación de cafeterías en Lima Metropolitana



El algoritmo para generar los *clusters* es el *k-means*, el cual inicia probabilísticamente los centroides iniciales para buscar la convergencia de las distintas salidas en una separación que cumpla con la minimización de las distancias con la media del grupo. Esto permite equilibrar la inercia de cada *cluster* formado (Sindayigaya & Dey, 2022), lo cual se presenta a continuación en la ecuación 2:

$$SSE = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} \text{distancia}\,(C_i, x)^2 \quad (2)$$

El problema de *k-means* se resuelve al utilizar el algoritmo de Lloyd. En la práctica, el algoritmo *k-means* es muy rápido (uno de los algoritmos de agrupamiento más rápidos que existen). Sin embargo, según la cantidad de datos y variables en el conjunto de datos, puede caer en mínimos locales, por lo que puede ser útil reiniciarlo varias veces (Yang et al., 2020).

3. RESULTADOS

En la etapa en que se aplicó la encuesta al personal de las cafeterías, se utilizó como muestra las dieciocho cafeterías participantes, de las cuales se obtuvo información primaria de los principales actores del sistema logístico de recojo de residuos del café (véase la Tabla 1). En la primera parte, se presenta el perfil del cliente y las presentaciones y tipos café que los establecimientos utilizan. En la segunda parte, se presenta

las características de la muestra con respecto a sus mecanismos de gestión de los residuos de café.

Tabla 1

Características de dieciocho cafeterías en Lima, Perú

Ubicación	Frecuencia	Porcentaje
Miraflores	6	33,33
Barranco	5	27,78
Santiago De Surco	2	11,11
Otros	5	27,78
Tiempo de operación del negocio		
Entre 2 y 3 años	6	33,33
Más de 5 años	5	27,78
Menos de 1 año	5	27,78
Entre 4 y 5 años	2	11,11
Tipo de cafetería		
Especialidad de café	13	72,22
Restaurante	3	16,67
Café como complemento	2	11,11
Consumo diario de café (en kilogramos)		
Entre 6 kg y 10 kg	7	38,89
Más de 10 kg	6	33,33
Entre 1 kg y 5 kg	5	27,78
Residuos diarios de café (en kilogramos)		
Entre 1 kg y 10 kg	15	83,33
Más de 20 kg	2	11,11
Entre 11 kg y 20 kg	1	5,56
Destino final de los residuos de café		
Los residuos se tiran en tachos de desperdicios generales	8	44,44
Los residuos se segregan y se tiran en tachos de desperdicios orgánicos	6	33,33
Se utiliza un mecanismo de gestión para los residuos	4	22,22
Conoce sobre los beneficios de los residuos de café		
Sí	13	72,22
No	5	27,78
Disposición para donar los residuos de café		
Sí	15	83,33
No	3	16,67

(*continúa*)

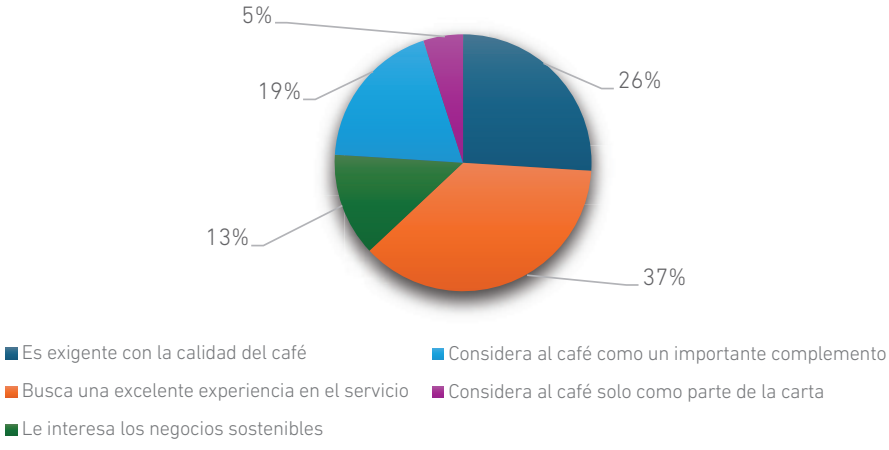
(*continuación*)

Ubicación	Frecuencia	Porcentaje
Intención de formar parte del sistema de logística de recolección de residuos		
Sí	17	94,44
No	1	5,56
Intención de uso de app de sistema de logística de recolección de residuos		
Sí	16	88,89
No	2	11,11
Frecuencia para la recolección del residuo		
Semanalmente, un día en específico	10	55,56
Diariamente	6	33,33
Semanalmente, cualquier día de la semana	2	11,11
Día de la semana de preferencia para la recolección del residuo		
Domingo	13	72,22
Lunes	2	11,11
Jueves	1	5,56
Sábado	1	5,56
Miércoles	1	5,56
Hora del día de preferencia para la recolección del residuo		
Después de las 7:00 p. m.	8	44,44
Al mediodía	6	33,33
Antes de las 8:00 a. m.	4	22,22

Con referencia al perfil del cliente, se encuentra que, de acuerdo con el 37 % de las respuestas, el cliente busca una excelente experiencia en el servicio, un 26, % es exigente con la calidad de café, un 19 % considera el café como un complemento y a un 13 % le interesa los negocios sostenibles (véase la Figura 5).

Figura 5

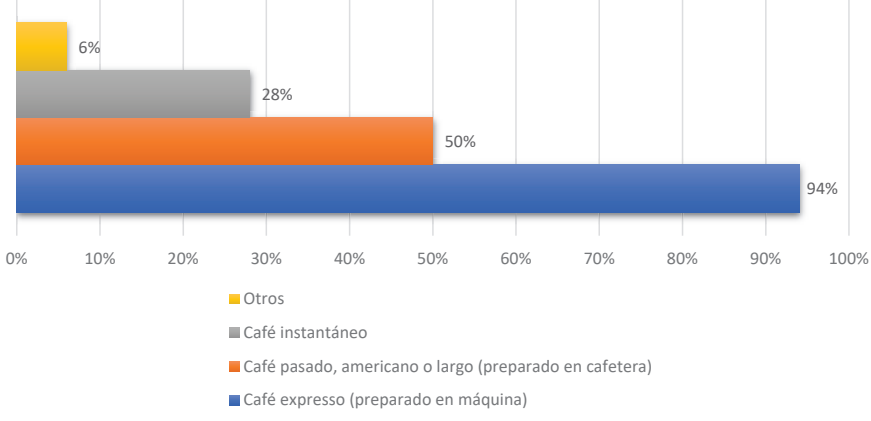
Perfil del cliente



De las empresas encuestadas, un 94 % ofrece café expreso; un 50 %, café pasado, americano o largo; un 28 %, otras presentaciones; y, solo un 6 %, café instantáneo (véase la Figura 6).

Figura 6

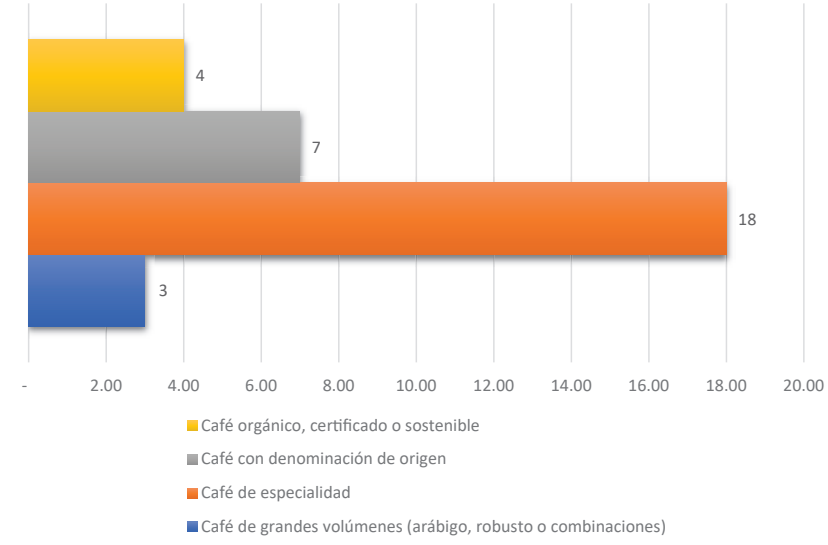
Presentaciones del café



Con respecto al tipo de café utilizado, el 100 % de los negocios utiliza café de especialidad; un 39 %, café con denominación de origen; un 22 %, café orgánico, certificado y sostenible; y, un 17 %, café de grandes volúmenes (véase la Figura 7).

Figura 7

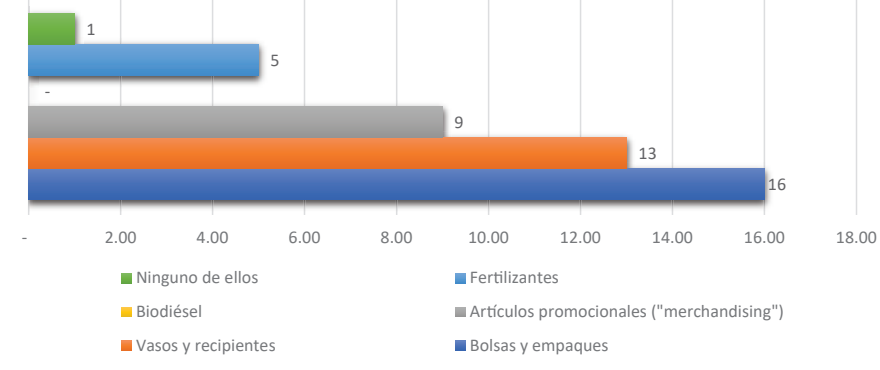
Tipo de café utilizado



Sobre los artículos reciclados de la borra de café, los negocios priorizan las bolsas y empaques, vasos y recipientes y artículos promocionales, que podrían beneficiarlos económicamente (véase la Figura 8).

Figura 8

Artículos reciclados a partir del café con beneficio económico



Las principales características de la muestra, con respecto a sus mecanismos de gestión de residuos, son las siguientes:

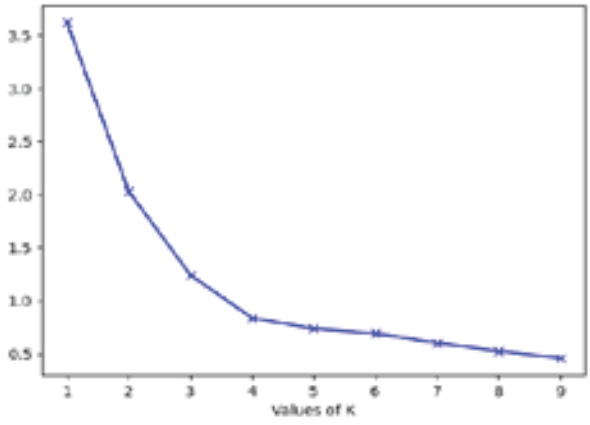
1. Los locales generan en promedio entre cinco a diez kilogramos de residuos de café al día.
2. La mayoría no cuenta con un sistema de recolección de residuos.
3. La mayoría tiene conocimiento de los beneficios de la gestión de residuos y están dispuestos a donar los residuos y en participar en el sistema de recolección logístico.
4. La preferencia para la realización de la colección son los domingos a partir de las siete de la noche.

3.1 Logística de recojo de residuos del café

Para la etapa de modelamiento de la logística de recojo de residuos, en la obtención de resultados se identificó la cantidad de conglomerados que son adecuados para el conjunto de datos. En la Figura 9, se observa que la cantidad de cuatro conglomerados puede ser útil.

Figura 9

Número de clusters *y valores de inercia en el conglomerado*



La Figura 9 muestra la asignación de cada punto de venta a su respectivo *cluster*. Esto muestra que algunos grupos son más compactos que otros, lo que nos ayuda a pasar a la etapa de obtención de las rutas de recolección considerando las restricciones de tiempo y distancia entre elementos de recolección (véase la Figura 10).

Figura 10

Centroides en los cuatro conglomerados



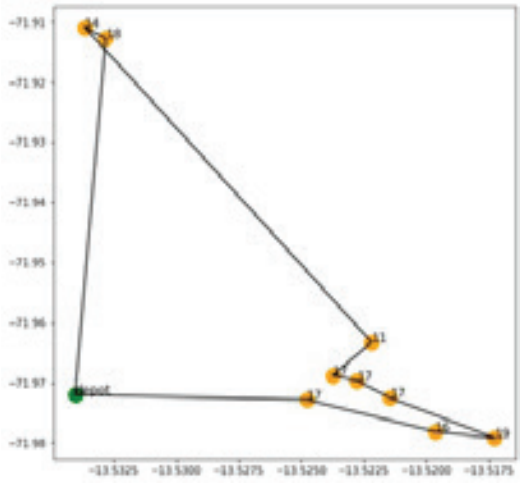
Nota. Zona color rojo: Miraflores. Zona verde: Pueblo Libre. Zona morada: Lima Centro. Zona Sur: Surco.

Como se ve en la Figura 10, los centroides se ubican en cuatro zonas diferenciadas por colores. Con relación a la secuencia de visitas, se consideró el *cluster* de color rojo por estar más agregado. Usualmente, la frecuencia de recojos se establece, según los resultados, una vez por semana y se menciona que esta sería los domingos. Como se considera una cantidad media de recojo de cinco kilogramos por día en cada local, la muestra de 72 locales se utilizó para obtener cuatro *clusters*.

Bajo esa lógica, se utilizó la librería VRPy para identificar la secuencia de visitas que debe realizarse. Una etapa importante en el recojo de residuos es la de obtener la matriz de distancias y de tiempos de viajes entre los puntos, con la intención de construir un modelo de optimización que minimice las distancias y traslados. Se trabajaron estas matrices con la librería Googleway en R. Esta librería se enlaza con los servicios de Google (véase la Figura 11).

Figura 11

Secuencia obtenida con método de ruteo



4. DISCUSIÓN

El diseño de la logística de recuperación de residuos tiene sentido, según lo reportado por Lyu et al. (2021), donde las técnicas de ruteo pueden combinar la simulación discreta por eventos para calcular los tiempos entre locales. Por ese motivo, se utiliza herramientas con información georreferenciada, lo que permite obtener las coordenadas de las ubicaciones con mayor precisión.

Los conglomerados obtenidos coinciden en metodología a lo propuesto por Muñoz-Villamizar et al. (2021b), por lo que puede aplicarse considerando la densidad poblacional. La cobertura de los centroides de los conglomerados cubre un porcentaje de la demanda similar a lo mostrado por Wirawan (2021). La diferencia entre los métodos para obtener la matriz de tiempos entre traslados y las distancias influye en los resultados, porque existen librerías como Geocode que utilizan un algoritmo de cálculo de distancias del tipo *haversine*, a diferencia de las técnicas utilizadas en nuestro método que parte de aplicar los servicios de las librerías de Google para R y Python.

5. CONCLUSIONES

De la información recogida, se tiene que un 67,22 % de las cafeterías tiene un consumo diario de 6-10 kg o más de café, mientras que un 83,33 % genera entre 1-10 kg de residuo de café, de los cuales solo un 22,22 % utiliza algún mecanismo de gestión para los residuos.

Las cafeterías manifiestan que conocen los beneficios de los residuos de café (72,22 %), su disposición para donar los residuos de café (83,33 %), la intención de formar

parte del sistema logístico de recolección de residuos (94,44 %) y su intención del uso de un aplicativo de sistema logístico para la recolección de residuos. Entonces, se concluye que sí existe interés de participar en un sistema de recolección de residuos como parte de un proyecto de economía circular. Este resultado se podría corroborar con una muestra mayor de participantes.

Con relación a la logística de recojo de residuos del café, se puede concluir que las herramientas de conglomerados ayudan a agrupar las potenciales zonas de recojo considerando que los centroides de dichas zonas geográficas pueden ser potenciales puntos de salida para la logística de ruteo. En este sentido, las herramientas de tecnología disponibles podrían facilitar la implementación de un proceso de recuperación de residuos. Una siguiente investigación podría abordar el diseño del modelo de recolección y una profundización en los posibles subproductos que se puedan generar con los residuos de café recolectados.

6. REFERENCIAS

Badr, A., El-Attar, M., Ali, H., Elkhadragy, M., Yehia, H., & Farouk, A. (2022). Spent coffee grounds valorization as bioactive phenolic source acquired antifungal, anti-mycotoxigenic, and anti-cytotoxic activities. *Toxins*, *14*(2), 109. https://doi.org/10.3390/toxins14020109

Baratsas, S. G., Pistikopoulos, E. N., & Avraamidou, S. (2021). A systems engineering framework for the optimization of food supply chains under circular economy considerations. *Science of the Total Environment*, *794*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148726

Barreto Peixoto, J., Silva, J., Oliveira, M., & Alves, R. (2023). Sustainability issues along the coffee chain: from the field to the cup. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(1), 287-332. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13069

Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, *21*(3), 603-614. https://doi.org/10.1111/jiec.12603

Bottani, E., Tebaldi, L., & Volpi, A. (2019). The role of ICT in supporting spent coffee grounds collection and valorization: a quantitative assessment. *Sustainability*, *11*(23). https://doi.org/10.3390/su11236572

Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Rubino, M., Izzo, L., Narváez, A., Ritieni, A., & Grosso, M. (2021). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods*, *10*(8). https://doi.org/10.3390/foods10081837

Ferasso, M., Beliaeva, T., Kraus, S., Clauss, T., & Ribeiro-Soriano, D. (2020). Circular economy business models: the state of research and avenues ahead. *Business Strategy and the Environment*, *29*(8), 3006-3024. https://doi.org/10.1002/bse.2554

Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Ferreira, M. E. (2009). Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds. *Desalination*, *249*(1), 267-272. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.017

Garcia, C. V., & Kim, Y. T. (2021). Spent coffee grounds and coffee silverskin as potential materials for packaging: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, *29*, 2372-2384. https://doi.org/10.1007/s10924-021-02067-9

Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research, 240*(3), 603-626. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012

Hagen, T., & Scheel-Kopeinig, S. (2021). Would customers be willing to use an alternative (chargeable) delivery concept for the last mile? *Research in Transportation Business & Management*, *39*, 2-13. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100626

Hwang, H., Winkler-Moser, J., Kim, Y., & Liu, S. (2019). Antioxidant activity of spent coffee ground extracts toward soybean oil and fish oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *121*(4). https://doi.org/10.1002/ejlt.201800372

Karan, G., Sreejith, R., & Senthil, S. (2019). Geographic analytics and visualization for decision making: an application for online food delivery platform. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, *8*(2), 6453-6458. https://doi.org/10.35940/ijrte.B2206.078219

Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, *26*(1-2), 37-40. https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547

Kondamudi, N., Mohopatra, S., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(24), 11757-11760. https://doi.org/10.1021/jf802487s

Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Shen, S. L. (2016). Strength assessment of spent coffee grounds-geopolymer cement utilizing slag and fly ash precursors. *Construction and Building Materials*, *115*, 565-575. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.021

Leow, Y., Yew, P., Chee, P., Loh, X., & Kai, D. (2021). Recycling of spent coffee grounds for useful extracts and green composites. *RSC Advances*, *11*(5), 2682-2692. https://doi.org/10.1039/d0ra09379c

Lisowski, A., Olendzki, D., Świętochowski, A., Dąbrowska, M., Mieszkalski, L., Ostrowska-Ligęza, E., Stasiak, M., Klonowski, J., & Piątek, M. (2019). Spent coffee grounds compaction process: its effects on the strength properties of biofuel pellets. *Renewable Energy*, *142*, 173-183. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.114

Luna-Lama, F., Rodríguez-Padrón, D., Puente-Santiago, A. R., Muñoz-Batista, M. J., Caballero, A., Balu, A. M., Romero, A. A., & Luque, R. (2019). Non-porous carbonaceous materials derived from coffee waste grounds as highly sustainable anodes for lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, *207*, 411-417. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.024

Lyu, Z., Pons, D., Zhang, Y., & Ji, Z. (2021). Freight operations modelling for urban delivery and pickup with flexible routing: cluster transport modelling incorporating discrete-event simulation and GIS. *Infrastructures*, *6*(12). https://doi.org/10.3390/infrastructures6120180

Martinez-Saez, N., Tamargo García, A., Domínguez Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., & del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, *216*, 114-122. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2018). Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. *Bioresource Technology*, *247*, 1077-1084. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.106

McNutt, J., & He, Q. (2019). Spent coffee grounds: a review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *71*, 78-88. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.11.054

Muñoz-Villamizar, A., Solano-Charris, E. L., Azad Disfany, M., & Reyes-Rubiano, L. (2021a). Study of urban-traffic congestion based on Google Maps API: the case of Boston. *IFAC-PapersOnLine*, *54*(1), 211-216. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.079

Muñoz-Villamizar, A., Solano-Charris, E. L., Reyes-Rubiano, L., & Faulin, J. (2021b). Measuring disruptions in last-mile delivery operations. *Logistics*, *5*(1). https://doi.org/10.3390/logistics5010017

Murthy, P., & Madhava, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 45-58. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005

Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, *4*, 661-672. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z

Naumov, V., & Pawluś, M. (2021). Identifying the optimal packing and routing to improve last-mile delivery using cargo bicycles. *Energies*, *14*(14). https://doi.org/10.3390/en14144132

Nazari, M., Oroojlooy, A., Takáč, M., & Snyder, L. V. (2018). Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Arxiv*, *2*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.04240

Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *12*(2), 318-327. https://doi.org/10.3926/jiem.2770

Osorio-Arias, J., Contreras-Calderón, J., Martínez-Monteagudo, S., & Vega-Castro, O. (2022). Nutritional and functional properties of spent coffee ground-cheese whey powder. *Journal of Food Process Engineering*, *45*(7). https://doi.org/10.1111/jfpe.13524

Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., & Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61*(17), 4162-4168. https://doi.org/10.1021/jf4005719

Park, J., Kim, B., & Lee, J. W. (2016). *In-situ* transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production. *Bioresource Technology*, *221*, 55-60. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.001

Ramos, E., Patrucco, A. S., & Chavez, M. (2021). Dynamic capabilities in the "new normal": a study of organizational flexibility, integration and agility in the Peruvian coffee supply chain. *Supply Chain* Management, *28*(1), 55-73. https://doi.org/10.1108/SCM-12-2020-0620

Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, *10*(3). https://doi.org/10.3390/su10030782

Ripanti, E. & Tjahjono, B. (2019). Unveiling the potentials of circular economy values in logistics and supply chain management. *The International Journal of Logistics Management, 30*(3), 723-742. https://doi.org/10.1108/ijlm-04-2018-0109

Roodt, J. H., & Dempers, C. (2020). Addressing Challenges of the Circular Economy using Model-Based Co-Creation and Systems Design. *INCOSE International Symposium*, *30*(1), 94-108. https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00710.x

Rufford, T. E., Hulicova-Jurcakova, D., Zhu, Z., & Lu, G. Q. (2008). Nanoporous carbon electrode from waste coffee beans for high performance supercapacitors. *Electrochemistry Communications*, *10*(10), 1594-1597. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2008.08.022

San Martin, D., Orive, M., Iñarra, B., García, A., Goiri, I., Atxaerandio, R., Urkiza, J., & Zufía, J. (2021). Spent coffee ground as second-generation feedstuff for dairy cattle. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *11*, 589-599. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00610-7

Santos Peñas, J. (2003). *Diseño de encuestas para estudios de mercado: t*écnicas de muestreo y análisis multivariante. Editorial Universitaria Ramón Areces.

Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2014). The capacitated VRP with equal demands. En T. Mikosch, S. Resnick, B. Zwart & T. Dieker (Eds.), *The logic of logistics* (3.ª ed., pp. 301-312). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9149-1

Sindayigaya, L., & Dey, A. (2022). Machine learning algorithms: a review. *International Journal of Science and Research*, *11*(8), 1127-1133. https://www.researchgate.net/publication/362711297_Machine_Learning_Algorithms_A_Review

Stahel, W. R. (2016). The circular economy - A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs. *Nature*, *531*, 435-438. https://doi.org/10.1038/531435a

Thriveni, T., Kim, M., & Whan, A. J. (2017). Overview of coffee waste and utilization for biomass energy production in Vietnam. *Journal of Energy Engineering*, *26*(1), 76-83. https://doi.org/10.5855/energy.2017.26.1.076

Tongcumpou, C., Usapein, P., & Tuntiwiwattanapun, N. (2019). Complete utilization of wet spent coffee grounds waste as a novel feedstock for antioxidant, biodiesel, and bio-char production. *Industrial Crops and Products*, *138*, Ho Chi Minh city, Vietnam. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111484

Trà, T., Phúc, L., Yến, V. T., Sang, L., Thu, N., Nguyết, T., & Mẫn, L. (2021, 4-5 de noviembre). Use of wheat flour and spent coffee grounds in the production of cookies with high fiber and antioxidant content: Effects of spent coffee grounds ratio on the product quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *947*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/947/1/012044

Wirawan, N. J. (2021, 1 de agosto). *(The Code) Microhubs: the future of urban logistics?* LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/code-microhubs-future-urban-logistics-nathanael-wirawan/?trackingId=uiJZFTNWRzqrgriIn5p4kQ%3D%3D

Yang, W., Long, H., Ma, L., & Sun, H. (2020). Research on clustering method based on weighted distance density and k-means. *Procedia Computer Science*, *166*, 507-511. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.056

Zuorro, A., & Lavecchia, R. (2012). Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, *34*, 49-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.003

INGENIERÍA DE NEGOCIOS

Business Engineering

Incremento del *net promoter score* a través de la gestión por procesos: estudio de caso en el *retail* de uniformes médicos

Gustavo Armando Ibañez Rodriguez*
https://orcid.org/0000-0001-9333-6248
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Unidad de Posgrado,
Facultad de Ingeniería Industrial, Lima, Perú

Recibido: 2 de febrero del 2024 / Aceptado: 28 de febrero del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6916

RESUMEN. Este estudio busca mejorar la satisfacción del cliente en el sector de uniformes médicos mediante la implementación de la gestión por procesos, centrándose en el *net promoter score* (NPS). Para ello, durante ocho meses, se aplicó el método planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA) para evaluar su impacto en dicho sector a través de encuestas a una muestra de 378 clientes. Se utilizó el enfoque metodológico mixto, el cual combina datos cuantitativos y cualitativos para evaluar la influencia de la gestión por procesos en la satisfacción de los clientes. Los resultados son respaldados por análisis estadísticos que subrayan la necesidad de una gestión por procesos efectiva para potenciar la mejora continua de la satisfacción del cliente, especialmente en el dinámico entorno del *retail*. Este estudio ayuda a cerrar la brecha en la correlación entre la gestión por procesos y mejoras tangibles en el NPS en el contexto del *retail*, ya que destaca su relevancia en un escenario pospandémico, donde las expectativas y competencia exigen prácticas comerciales optimizadas.

PALABRAS CLAVE: control de procesos / satisfacción del cliente / comercio al por menor / logística empresarial / uniformes

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónico: Gustavo.ibanez1@unmsm.edu.pe

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

INCREMENT OF NET PROMOTER SCORE THROUGH PROCESS MANAGEMENT: A CASE STUDY IN MEDICAL UNIFORMS RETAIL

ABSTRACT. This study aims to enhance customer satisfaction in the medical uniforms sector through the implementation of process management, focusing on the Net Promoter Score (NPS). Over eight months, the Plan-Do-Check-Act (PDCA) method was applied, assessing its impact through surveys on a sample of 378 customers. The mixed-methodological approach integrates quantitative and qualitative data to evaluate the influence of process management on customer satisfaction. Results, supported by statistical analysis, underscore the imperative need for effective process management to drive continuous improvement in customer satisfaction, especially in the dynamic retail environment. This study bridges the gap in correlation between process management and tangible improvements in NPS within the retail context, emphasizing its relevance in a post-pandemic scenario where customer expectations and competition demand optimized business practices.

KEYWORDS: process control / consumer satisfaction / retail trade / business logistics / uniforms

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las organizaciones están experimentando cambios significativos, de los que destaca la creciente importancia de aspectos como los clientes, la globalización, los nuevos modelos de negocio y las tecnologías avanzadas que crean un entorno propicio para la eficiente gestión empresarial (Piñuela-Espín & Quito-Godoy, 2020). Además, aspectos como la robotización, la automatización, el desarrollo de habilidades adel personal y el manejo de grandes cantidades de datos ofrecen recursos sin precedentes (Lizarzaburu et al., 2018).

En este escenario, el 70% de las empresas opera sin una gestión formal de procesos, lo que resulta en operaciones fragmentadas y autónomas, principalmente debido a la falta de conocimiento sobre innovaciones digitales relacionadas con la administración por procesos. La eficacia empresarial experimenta mejoras notables al implementar un sistema de gestión por procesos en el entorno digital (Business. Negocios en el Perú, 2019).

Entre marzo y mayo del 2020, Perú enfrentó la disminución del 11 % de su producto bruto interno (PBI) debido a las restricciones impuestas por la cuarentena en el contexto de la pandemia del COVID-19, lo que llevó a más de 45 000 empresas a suspender sus operaciones (Agencia EFE, 2021). Este escenario ha amenazado la viabilidad de numerosas empresas que operaban con deficiencias en sus procesos, baja productividad y costos elevados, que descuidaban aspectos fundamentales como la satisfacción del cliente. En la "nueva normalidad", la gestión por procesos emerge como una ventaja competitiva esencial para aquellas empresas que buscan perdurar en el mercado, las que ofrecen productos o servicios de calidad y aseguran su continuidad a largo plazo.

La importancia de ofrecer productos y servicios de calidad para garantizar la satisfacción del cliente es enfatizada por Bustamante (2021). Este autor aboga por un enfoque estratégico respaldado por análisis cuantitativos y cualitativos. La estrategia propuesta, centrada en elevar la satisfacción del cliente, fomentar recomendaciones y establecer relaciones sólidas con clientes potenciales, se alinea con la propuesta para mejorar la satisfacción de los clientes en la empresa Moda Salud mediante la efectiva implementación de la gestión por procesos, con el objetivo de aumentar su *net promoter score*.

La validez del marco teórico de esta investigación se ve reforzada por el estudio de Vigo y González (2020), quien, al explorar un laboratorio de análisis clínicos, identificó una conexión significativa entre la calidad del servicio y la satisfacción del cliente. Además, se incorpora las experiencias compartidas en el estudio de Koladycz et al. (2018), centrado en el uso del *net promoter score* (NPS), para evaluar experiencias en clínicas de salud sexual y reproductiva. Asimismo, el análisis de Faltejsková et al. (2016) sobre la integración del NPS en la evaluación del rendimiento empresarial en la industria

cervecera checa destaca la relevancia de medir la satisfacción del cliente y su vínculo con el éxito económico. Lewis y Mehmet (2020) evalúan el rendimiento de la cadena de suministro de una empresa automotriz en Transilvania, en la que resaltan la satisfacción del cliente como métrica esencial. Su investigación destaca el impacto significativo en costos debido a la pérdida de clientes por experiencias negativas, de lo que se subraya la importancia de respuestas rápidas y soluciones efectivas para mantener y mejorar la satisfacción del cliente. La investigación de Baehre et al. (2022a), sobre el uso del NPS para predecir el crecimiento de las ventas, aporta conocimientos empíricos relevantes, mientras que la exploración de Happ et al. (2021) sobre la información de la experiencia del cliente en tiendas de deportes complementa la perspectiva centrada en el cliente de este estudio.

El estudio de Hernández et al. (2016), "Generalización de la gestión por procesos como plataforma de trabajo de apoyo a la mejora de organizaciones de salud", contribuye a la comprensión de la problemática descrita en esta investigación. Dicho trabajo destaca la exitosa aplicación de la gestión por procesos en el sector de la salud y ofrece un sólido marco para entender su efectividad en la optimización y mejora continua de procesos. En entornos de salud, donde la eficiencia y la calidad son esenciales, esta metodología se ha demostrado fundamental. Asimismo, Gutiérrez (2016) amplía la perspectiva al investigar la implementación de la gestión por procesos en la Clínica Santa María en Ambato, con el objetivo de establecer un sistema clave en los servicios clínicos. A pesar de enfrentar desafíos estructurales, la implementación logró reducir costos, mejorar la eficiencia y generar ventajas competitivas, todo mientras priorizaba la satisfacción del cliente.

También se ha consultado el trabajo que aporta Figueroa (2018), quien investiga estrategias para mejorar la satisfacción del cliente de la empresa Alimentos El Sabor (Ecuador) mediante la eficiente gestión de procesos logísticos. Su enfoque aborda los factores de despacho, tiempo de entrega, calidad de productos y servicio posventa, y propone mejoras que podrían incrementar las ventas anuales en un 15 % y generar ventajas competitivas en costos y atención al cliente. De la misma manera, el estudio de Barrios et al. (2019) explora el papel fundamental de la gestión por procesos en la competitividad y organización de pymes en Barranquilla, y se enfatiza la coordinación eficiente de recursos como esencial para la competitividad empresarial. El estudio de Chalupa et al. (2021) resalta el uso de la gestión de procesos de negocio en la mejora de ventas directas hoteleras, lo cual proporciona perspectivas aplicables en el ámbito minorista. La revisión sistemática de Cruz et al. (2020) sobre la adopción de tecnologías de gestión de procesos de negocio contribuye a una comprensión más profunda de las tendencias en dicho campo, mientras que el trabajo de Cruz et al. (2018) sobre la evolución del concepto de calidad y los modelos de medición en el servicio brinda un contexto teórico valioso.

La gestión por procesos, según diversas investigaciones (Mennuto et al., 2021; Pardo, 2019b; Rohvein et al., 2019), se conceptualiza como un enfoque organizacional sistemático cuyo objetivo principal es optimizar los procesos fundamentales de una empresa para alcanzar sus metas. En esencia, la gestión por procesos implica una integración coordinada de la empresa con otros sistemas, tales como calidad, riesgo, conocimiento y talento, según señala Pardo (2019b). En el ámbito de la mejora del desempeño organizacional, la gestión por procesos emerge como un componente central en la administración contemporánea. Facilita a las organizaciones la identificación, medición, análisis, mejora y control de sus procesos empresariales esenciales (Pérez, 2018). La finalidad de esta metodología es impulsar la eficiencia, eficacia y calidad de los productos y servicios ofrecidos, con el fin de influir directamente en la satisfacción del cliente y, por ende, en una mayor competitividad en el mercado, aspectos cruciales para el éxito empresarial (Medina et al., 2019).

Silva et al. (2021) conceptualizan la satisfacción del cliente como el grado en que los productos o servicios cumplen las expectativas, vital para impulsar la repetición de compras y la lealtad del cliente, lo que contribuye al éxito empresarial. La evaluación considera factores como calidad, atención al cliente y puntualidad (Kotler & Keller, 2012). La relación entre satisfacción y *net promoter score* (NPS) radica en que este último mide al primero (Reichheld & Markey, 2012). El NPS presentado por Reichheld cuantifica la lealtad y satisfacción hacia una marca, cuyo foco es construir vínculos emocionales (Reichheld & Markey, 2012). Su aplicación clasifica a los clientes en promotores y detractores para identificar puntos críticos al asociar aspectos como respuesta a necesidades, tiempos de entrega y calidad del producto con la lealtad del cliente. La practicidad del NPS lo destaca como método preferido en la gestión de la experiencia del cliente (Trejo et al., 2023) y se calcula mediante la clasificación de promotores, pasivos y detractores, según la pregunta *likelihood-to-recommend* (LTR) (Baehre et al., 2022b).

Particularmente, esta investigación se enfoca en elevar el *net promoter score* (NPS) en el ámbito minorista de uniformes médicos de la empresa Moda Salud. Esto debido a que la intensificación de la competencia pospandémica subraya la necesidad de optimizar procesos que, a su vez, es respaldada por la evidencia que indica que la gestión por procesos mejora la calidad del servicio y la satisfacción del cliente (Pérez, 2018). Además, la esencial relación entre la satisfacción del cliente, la fidelización y los ingresos destaca su relevancia en este nuevo escenario empresarial (Kotler & Keller, 2012).

En ese sentido, el objetivo central de esta investigación es potenciar la gestión en la empresa Moda Salud para elevar la satisfacción del cliente mediante la implementación efectiva de la gestión por procesos y haciendo uso del NPS como herramienta clave. Esta investigación no solo busca contribuir al conocimiento académico sobre gestión por procesos y satisfacción del cliente, sino que también pretende tener un impacto directo en

el sector *retail* al proporcionar recomendaciones específicas respaldadas por evidencia empírica. Por ello, se espera que los hallazgos de este estudio no solo beneficien a la empresa Moda Salud, sino que también generen *insights* aplicables a otras empresas del sector y aporten así al impacto científico y social de la investigación.

El enfoque metodológico de este estudio se basa en el ciclo PHVA (planear-hacer-verificar-actuar) y se centra en evaluaciones cuantitativas que incluyen encuestas de satisfacción NPS. Además, se pretende establecer un marco sólido para futuras investigaciones en la intersección de la gestión por procesos y el sector salud, con el objetivo de mejorar la calidad del servicio y la satisfacción del cliente de manera sostenible.

2. METODOLOGÍA

La presente investigación ha adoptado un enfoque mixto para cuantificar la importancia de las variables en la gestión por procesos en relación con la satisfacción del cliente. Este enfoque combina procesos sistemáticos y empíricos, y permite la generación de un sistema de gestión por procesos que aborda los problemas identificados en el estudio (Hernández Sampieri et al., 2020).

La investigación se clasifica como aplicada, con un enfoque descriptivo y comparativo. La unidad de análisis fueron los procesos logísticos y la percepción de los clientes. La población objetiva comprendió a 22 000 clientes, de los cuales se seleccionó una muestra probabilística de n = 378, compuesta por clientes de la empresa Moda Salud. La selección aleatoria aseguró la representatividad de la muestra y la generalización de los resultados a la población objetiva.

Para garantizar la representatividad, se ha priorizado a los clientes que han realizado compras en el último mes y se les considera como los más familiarizados con los servicios de la empresa. Aunque la base de datos incluye 22 000 clientes, el enfoque se dirige a aquellos que han interactuado recientemente. Entonces, se sigue un proceso meticuloso y se considera la distribución de clientes en las cuatro tiendas, con una selección aleatoria equitativa basada en la cantidad de clientes que han comprado recientemente en cada una. La muestra final de 378 clientes, que han interactuado recientemente con la empresa Moda Salud, se eligió de manera representativa, a quienes se les aplicó encuestas de satisfacción para recopilar datos y obtener percepciones y opiniones.

El recojo de datos se llevó a cabo mediante diversas técnicas e instrumentos:

- *Observación*. Se realizó una observación directa, utilizando técnicas de levantamiento de procesos en campo y entrevistas para comprender el funcionamiento de los procesos y actividades de seguimiento comercial y logística

de la empresa. Esto permitió elaborar el mapa de proceso de la empresa en esta investigación y estimar los tiempos de actividades en concordancia con las entrevistas.

– *Entrevista*. Se aplicó la técnica de entrevistas para recopilar información sobre el nivel de gestión de calidad interno referente a los procesos de la empresa. Se realizaron consultas directas a los miembros del área con el objetivo de comprender, desde sus perspectivas, cómo percibían el nivel de la gestión de la empresa.

– *Análisis documental*. Se empleó la técnica de análisis documental para revisar toda la documentación existente dentro de la empresa relacionada con el proceso de negocio en estudio. De esta forma, se obtuvo acceso a documentos internos, tales como políticas, reglamentos, circulares, manuales de procedimientos, guías e inventario de procesos.

– *Encuesta*. Se aplicó la técnica de encuestas con la finalidad de recolectar información tanto de la variable dependiente como de la variable independiente. La fuente primaria de la cual se obtuvieron los datos sobre la satisfacción fueron los clientes. Esta base de datos de clientes se extrajo del sistema ICG Manager. El cuestionario que se utilizó estuvo basado en el NPS y se llevó a cabo en dos periodos, pre- y posimplementación de gestión por procesos, para poder determinar la satisfacción de los clientes de la empresa.

Para calcular el NPS, se utiliza la pregunta específica a los clientes: "En una escala del 0 al 10, ¿qué tan probable es que usted recomiende nuestro producto/servicio/empresa a un amigo, familiar o colega?" (Reichheld & Markey, 2012). El *net promoter score* se calcula restando el porcentaje de detractores del porcentaje de promotores, según la siguiente fórmula:

$$\text{NPS} = \%\ \text{Promotores} - \%\ \text{Detractores}$$

Las respuestas de los encuestados se clasifican en tres categorías:

– Promotores (P): clientes que dan una calificación de 9 o 10.

– Neutrales (N): clientes que dan una calificación de 7 u 8.

– Detractores (D): clientes que dan una calificación de 6 o menos.

Cálculo de porcentajes:

$$\%\ \text{Promotores} = \frac{\text{Número de promotores}}{\text{Total de respuestas}}\ x\ 100$$

$$\%\ \text{Detractores} = \frac{\text{Número de promotores}}{\text{Total de respuestas}}\ x\ 100$$

El resultado final del NPS puede variar de -100 a +100, donde un valor positivo indica una mayoría de promotores y un valor negativo sugiere una mayoría de detractores (Reichheld & Markey, 2012).

Para evaluar la satisfacción de los clientes externos antes y después de la implementación de la gestión por procesos, se empleó el test de U de Mann-Whitney. También se realizó una verificación de la normalidad de los datos mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. La hipótesis nula (H_o) plantea que no existe una diferencia significativa en la satisfacción antes y después, en contraste, la hipótesis alternativa (H_i) propone lo contrario.

La implementación siguió la metodología PHVA. En la etapa de planificación, se llevó a cabo actividades clave que incluyen la identificación, mapeo, caracterización y asignación de responsabilidades a los procesos fundamentales, lo cual fomenta la colaboración entre los miembros del equipo (véase la Figura 1). Los procesos logísticos críticos, como planeación y gestión de inventario, compras, recepción y almacenado, preparación de pedidos y despacho, son claramente delineados. El mapa de procesos no solo facilita una comprensión detallada, sino que también contribuye a la identificación de oportunidades de mejora y al establecimiento de objetivos estratégicos para promover la alineación interdepartamental (Pardo, 2019a).

En la fase de ejecución, se asignaron roles específicos y se proporcionó capacitación detallada (véase la Figura 1). Estas acciones garantizaron una comprensión clara de los procesos y objetivos, sentaron las bases para las actividades esenciales y contribuyeron al logro de los resultados deseados en la gestión por procesos.

En el ámbito de la medición, se implementó un sistema de vigilancia del rendimiento basado en indicadores sólidos que respaldaron decisiones fundamentadas en datos y aseguraron la calidad de los procesos (véase la Figura 1). La elección cuidadosa de indicadores clave de desempeño (KPI) se convierte en un componente crucial para la gestión efectiva, pues permite tomar decisiones informadas y fomentar mejoras continuas (Mora, 2019). Los indicadores a medir abarcan aspectos como la rotación de mercancía, tasa de precisión del pronóstico, *lead time* de planeación (importación), *lead time* de reposición de *stock*, *lead time* de compras, calidad de los pedidos generados, *lead time* de recepción y almacenado, precisión en el registro de inventario, tasa de error de preparación, *lead time* de preparación de pedidos, entrega perfecta y *lead time* de despacho.

Durante la etapa de mejora, se implementaron correcciones y mejoras basadas en objetivos medibles y planes de acción (véase la Figura 1). La mejora continua se establece como un pilar esencial para optimizar la eficiencia y efectividad, con un enfoque claro en diferenciar entre correcciones inmediatas y acciones correctivas dirigidas a abordar

las causas subyacentes (Pardo, 2019a). La predicción de tendencias se llevó a cabo con el uso de herramientas avanzadas como Power BI y Excel, de los cuales se aprovechó las funciones de pronóstico para analizar datos históricos. Este enfoque se aplica especialmente en áreas críticas como la gestión de inventario y el análisis de ventas (Atehortúa et al., 2018).

Figura 1

Road map *de implementación de gestión por procesos*



3. RESULTADOS

3.1 Resultados de la encuesta *net promoter score* previos a la implementación

En el estudio se reveló un NPS de 13 (véase la Figura 2), lo que indica la necesidad de mejorar aspectos para incrementar la satisfacción y retención del cliente. En la Figura 3, se destaca la falta de disponibilidad de *stock*, lo que se atribuye a una gestión inadecuada del mismo. Por ello, se opta por medidas concretas para abordar estas deficiencias y mejorar la calidad del servicio o producto. A través de una técnica mixta que combina observación directa y entrevistas, se diagnosticaron los procesos logísticos en la empresa. También se identificaron carencias en la definición y gestión eficiente de procesos, lo cual influye en áreas críticas como en el control de *stock*, las compras, el almacenamiento y la preparación de pedidos. Con base en los resultados de la encuesta y el análisis de los procesos logísticos, se subraya la necesidad de implementar la gestión por procesos como estrategia clave para fortalecer la satisfacción de los clientes, de lo cual se destaca la relevancia de indicadores clave de rendimiento y una revisión constante de los procesos.

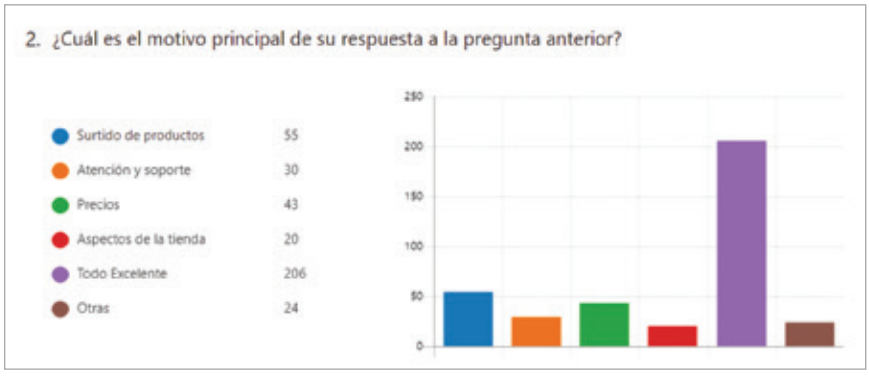
Figura 2

Resultado previo a la encuesta NPS



Figura 3

Motivos principales de los resultados previos a la encuesta NPS



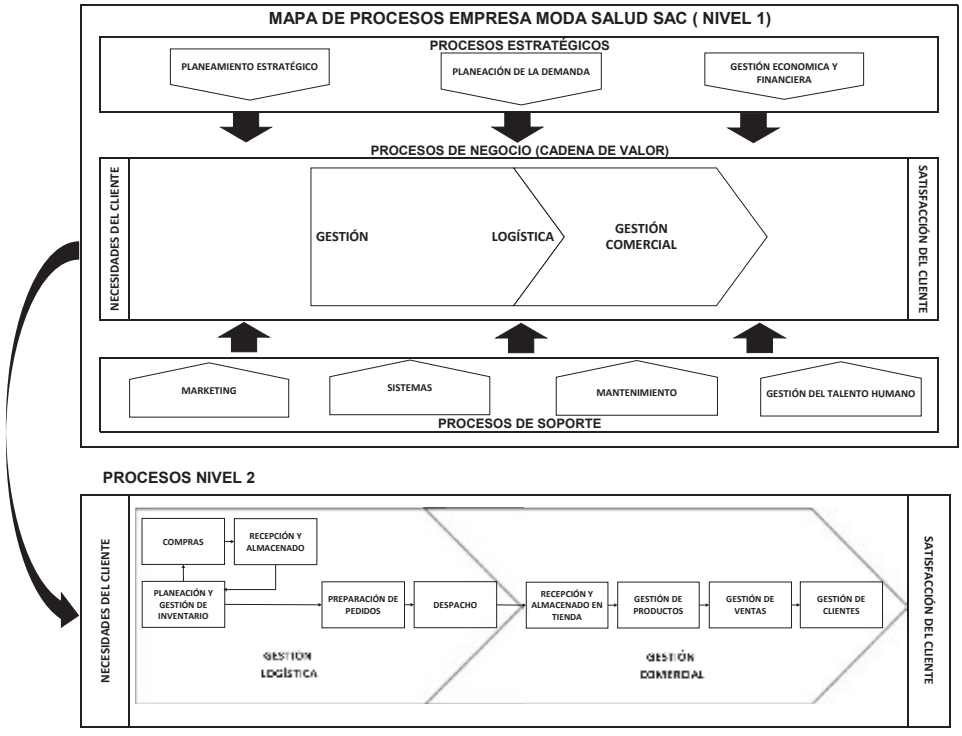
3.2 Implementación de gestión por procesos

Planificación

Moda Salud es una empresa que ha adoptado la gestión por procesos para avanzar en su mejora continua. La primera etapa, basada en el ciclo PHVA, implicó la planificación y mapeo de los procesos clave de la empresa alineados con su misión y visión. Estos procesos fueron clasificados en tres categorías: estratégicos, de negocio y de soporte (véase la Figura 4).

Figura 4

Mapa de procesos de la empresa Moda Salud



Uno de los procesos cruciales identificados fue la gestión logística, que abarca la planificación y gestión de inventario, compras, recepción y almacenado, preparación de pedidos y despacho. Estos procesos fueron considerados críticos y estratégicos para la empresa. Se enfocaron en la optimización de los niveles de *stock*, la reducción de los tiempos de entrega, la mejora de la trazabilidad de los productos y la precisión de los inventarios, especialmente debido a un problema significativo relacionado con el *stock* de productos en las tiendas que impactaba directamente en la satisfacción de los clientes.

Después de mapear los procesos logísticos, se llevó a cabo la caracterización detallada de cada uno para obtener un conocimiento exhaustivo de sus entradas, salidas, responsables, proveedores, clientes y demás información relevante. Un proceso de importancia crítica fue la planeación y gestión de inventarios, que incluye la preparación de pedidos de importación y reposición de tiendas. Este proceso asegura una planificación y control adecuados de las existencias. En el proceso de compras, se gestionó la adquisición de los productos necesarios para la empresa, desde la emisión

de órdenes de pedido hasta la recepción de la carga en el almacén central. En el proceso de recepción y almacenado, se enfocó en recibir y organizar eficientemente la carga en el almacén central, asegurando un almacenamiento adecuado y un registro correcto de los productos.

En el momento de la preparación de pedidos se encargó de recibir, recolectar y organizar los productos solicitados para su envío, garantizando la eficiencia y precisión en este proceso clave. Finalmente, el proceso de despacho se centró en la planificación, recojo y entrega de productos en los puntos de venta, asegurando una entrega eficiente y precisa, vital para la satisfacción del cliente y el cumplimiento de estándares de calidad. Estas acciones permitieron una mejora en la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente, y se cumplió con los objetivos de la implementación en la empresa.

Ejecución

La ejecución exitosa de las acciones planificadas y la implementación de los procesos definidos en la fase de planificación fueron posibles gracias al compromiso decidido de la alta dirección y de todo el equipo involucrado. Se estableció una comunicación efectiva y se proporcionó capacitación adecuada al personal afectado por los cambios, asegurando así que comprendieran su papel activo en la implementación y la importancia de su contribución para el éxito continuo de la organización.

Un equipo dedicado, compuesto por miembros de diversas áreas para garantizar una visión integral de los procesos, encabezó la implementación bajo la coordinación y supervisión del líder del proyecto. Se brindó especial atención a la mejora de la precisión en el pronóstico de ventas durante la fase de planificación y gestión de inventario, siendo este aspecto crítico para asegurar un nivel óptimo de existencias y satisfacer eficientemente la demanda. La aplicación de técnicas de análisis de datos, considerando tanto el historial de ventas como la experiencia del equipo, posibilitó una planificación más precisa de la demanda y las reposiciones de *stock*.

El proceso de compras experimentó mejoras sustanciales, pues se optimizaron tiempos de coordinación con proveedores y se agilizó la comunicación y coordinación para reducir tiempos de espera y gestionar eficientemente trámites aduaneros. Esto se reflejó en una mejora notable del *lead time* de compras y la calidad de los pedidos generados. En recepción y almacenado, se lograron avances significativos al reducir el *lead time* al implementar controles rigurosos para evitar discrepancias en los registros de inventario y asegurar una recepción precisa y oportuna de los productos.

En el proceso de preparación de pedidos, se trabajó arduamente para mejorar la precisión y reducir el tiempo total del proceso. Se establecieron procedimientos rigurosos y se aplicaron controles de calidad para minimizar errores y garantizar que los

pedidos se prepararan de manera precisa y eficiente. En el último proceso (despacho), se lograron mejoras sustanciales para asegurar una entrega perfecta y reducir el *lead time*. Se enfocaron en garantizar una entrega precisa y sin errores, al mismo tiempo que se reducía significativamente el tiempo desde la recepción del pedido hasta su preparación y envío.

Medición

En esta fase se midió los indicadores previamente establecidos. Esto fue esencial para evaluar el desempeño actual de los procesos logísticos y detectar áreas de mejora que puedan impulsar altos niveles de eficiencia y satisfacción del cliente. Se implementaron métodos rigurosos de recolección de datos para medir los indicadores, incluyendo observaciones directas y recopilación de datos de los sistemas de información de la empresa. Además, se involucró activamente al equipo de trabajo en cada proceso para obtener información valiosa sobre los tiempos de ejecución y aspectos críticos del proceso.

Los resultados obtenidos proporcionaron una visión clara y detallada del desempeño de los procesos logísticos. Estos resultados permitieron identificar el estado actual de los indicadores y establecer una línea base para evaluar futuros avances y mejoras. Se dio especial atención al tiempo de ejecución de los procesos y a la precisión de los pronósticos de inventario, aspectos cruciales en el ámbito logístico que impactan directamente en la capacidad de la empresa para satisfacer las demandas de los clientes de manera oportuna y eficiente. En la Tabla 1 se enumeran los procesos e indicadores de la gestión logística de la empresa Moda Salud, seguida del desarrollo detallado de cada proceso para medir sus indicadores.

Tabla 1

Indicadores logísticos de la empresa Moda Salud

Nombre del Proceso	Indicador	Definición	Objetivo	Fórmula
Planeación y gestión de inventario	Rotación de mercancía	Indica el número de veces que el capital invertido se recupera a través de las ventas y se presenta como la proporción entre las ventas y las existencias promedio.	Controlar la cantidad de productos despachados desde el almacén central	Costo total de los bienes vendidos / Promedio de inventario
	Tasa de precisión del pronóstico	Mide la precisión del pronóstico de ventas en relación con las ventas reales.	Minimizar el error entre el pronóstico y las ventas reales	MAD = Real - Pronóstico MAPE = (Real - Pronóstico) / Real
	Lead time de planeación (importación)	Mide el tiempo que tarda el personal en entregar el pedido de importación a compras.	Reducir el tiempo de procesamiento y aprobación de los pedidos de importación	Tiempo de procesamiento de armado del pedido + Tiempo de aprobación del pedido + Tiempo de envío
	Lead time de reposición de *stock*	Mide el tiempo que tarda el personal en entregar el pedido para las reposiciones de tiendas hacia el proceso de preparación de pedidos.	Reducir el tiempo de procesamiento y envío de los pedidos de reposición de *stock*	Tiempo de procesamiento de armado del pedido + Tiempo de envío
Compras	*Lead time* de compras	Mide el tiempo que tarda desde que se recibe el reporte consolidado de prendas hasta la compra.	Reducir el tiempo requerido para completar el proceso de compras	Tiempo de procesamiento de pedidos + Tiempo de aprobación del pedido + Tiempo de envío + Tiempo de recepción
	Calidad de los pedidos generados	Representa el número y porcentaje de pedidos generados sin retraso o necesidad de información adicional.	Mejorar la calidad de los pedidos generados	Pedidos generados sin problemas / Total de los pedidos generados

Recepción y almacenado	*Lead time* de recepción y almacenado	Mide el tiempo que tarda desde que la mercancía llega al almacén hasta que se registra en el sistema y se almacena.	Reducir el tiempo de procesamiento y almacenamiento	Hora de finalización del proceso de recepción y almacenamiento - Hora de llegada de la mercancía al almacén central
	Precisión en el registro de inventario	Mide el porcentaje de discrepancia entre la cantidad registrada en el sistema y la cantidad real de artículos recibidos.	Mejorar la precisión en el registro de inventario	Cantidad real de artículos sin discrepancia / Cantidad de artículos registrados
Preparación de pedido	Tasa de error de preparación	Representa el porcentaje de pedidos preparados incorrectamente en comparación total.	Minimizar los errores de preparación y asegurar la exactitud de los pedidos	Pedidos preparados incorrectamente / Total de pedidos preparados
	Lead time de preparación de pedidos	Mide el tiempo transcurrido desde la recepción del pedido hasta su preparación.	Reducir el tiempo de respuesta y entregar los pedidos de manera eficiente	Tiempo de preparación del pedido - Tiempo de recepción del pedido
Despacho	Entrega perfecta	Representa el porcentaje de órdenes entregadas sin errores en relación al total de órdenes atendidas.	Garantizar la entrega correcta y completa de los pedidos	Entregas perfectas / Total de entregas
	Lead time de despacho	Mide el tiempo transcurrido desde que se recibe el pedido hasta que está listo para su envío.	Reducir el tiempo de procesamiento y preparación de los pedidos	Tiempo de entrega - Tiempo de finalización de preparación

Nota. MAD: desviación absoluta media (*mean absolute deviation*). MAPE: error absoluto medio porcentual (*mean absolute percentage error*).

Actuación

En el proceso de planificación y gestión de inventario, se resaltan cuatro indicadores clave:

– *Rotación de mercancía*. Antes de la implementación de mejoras, la rotación de mercancía mostraba un promedio de 91 días en el primer trimestre del 2022. Para optimizar este indicador, se aplicó el análisis de datos históricos y se implementó un modelo de pronóstico de inventario con Power BI. Tras la implementación, la rotación de mercancía se redujo a 65 días, lo que generó una mejora del indicador en 26 días.

- *Tasa de precisión del pronóstico*. Previamente, la tasa de precisión del pronóstico mostraba un MAD promedio de 358 y un MAPE del 18 % en el primer trimestre del 2022. Se aplicaron análisis de ventas y se configuraron modelos de pronóstico con Power BI. Tras la implementación, el MAD se redujo a 152 y el MAPE promedio disminuyó al 8,3 %, lo que refleja una mejora significativa en la precisión del pronóstico.
- Lead time *de planeación (importación)*. Inicialmente, el *lead time* en la importación de inventario promediaba 38,5 horas, lo que generaba demoras en la reposición de productos. Se implementaron mejoras que incluyeron una plantilla automatizada en Excel y sistemas automatizados de detección de productos faltantes, lo cual agilizó el proceso. Como resultado, el *lead time* se redujo a 23 horas y mejoró la eficiencia en un 40 %.
- Lead time *de reposición de* stock. Antes de las mejoras, el proceso de reposición de *stock* demandaba un promedio de 5,5 horas. Se adaptó una plantilla de Excel y se aplicaron funciones avanzadas como BUSCARV para optimizar la revisión y completación de códigos faltantes. Tras la implementación, el tiempo se redujo a 2,3 horas y se logró una mejora del 58 % en la eficiencia del proceso.

Estas mejoras implementadas, apoyadas por el uso efectivo de Power BI, han resultado en una optimización integral de la gestión de inventario en la empresa Moda Salud. La reducción en los tiempos, la precisión de los pronósticos y la eficiencia en la planificación han contribuido a una operación más eficiente y a una mayor satisfacción del cliente, lo que ha consolidado el éxito en el ámbito empresarial.

El proceso de compras se enfoca en dos indicadores clave que son cruciales para la eficiencia y la satisfacción en el abastecimiento de productos.

Calidad de los pedidos generados. Se ha aprovechado la funcionalidad de carga masiva en la plataforma web del proveedor y se ha permitido la carga simultánea de múltiples productos en lugar de uno por uno, lo que ha agilizado notablemente el proceso. Adicionalmente, se ha simplificado el proceso de ingreso de datos al identificar y eliminar pasos redundantes. La creación de plantillas predefinidas estructuradas ha facilitado el ingreso de información y ha asegurado la consistencia y reducción de errores. Estas mejoras han llevado el cumplimiento de calidad de pedidos al 96 % en el primer trimestre del 2023, una notable mejora desde el 76 % en el 2022.

Lead time *de compras*. Se redujo un 43 %, pasando de catorce a ocho horas. Este logro se ha materializado mediante la implementación de diversas acciones. La utilización de carga masiva y la simplificación del proceso de ingreso han contribuido a acelerar el ingreso de datos y eliminar pasos redundantes. También se han establecido

plazos precisos para el ingreso de pedidos, lo que ha asegurado un flujo constante y evitado retrasos. Además, se ha implementado un sistema de seguimiento para registrar y monitorear el avance del ingreso de los pedidos, lo que ha permitido la detección temprana de posibles retrasos y la implementación de medidas correctivas de forma oportuna.

El proceso de recepción y almacenado se concentra en dos indicadores clave fundamentales para garantizar una gestión adecuada del inventario y asegurar la integridad de los datos.

Precisión en el registro de inventario. Este indicador evalúa la correspondencia entre las cantidades de productos registradas durante la importación y las cantidades reales recibidas en el almacén central. Anteriormente, este proceso enfrentaba desafíos en términos de precisión, por lo que se generan discrepancias entre las cantidades registradas y las cantidades realmente recibidas. Con las mejoras implementadas en el proceso de compras, especialmente en el indicador de calidad de pedidos generados, se han logrado avances significativos en la exactitud del registro de inventario. La optimización de la generación de pedidos, mediante funcionalidades como carga masiva y simplificación del proceso de ingreso de productos, ha tenido un impacto directo en la precisión de los registros. Durante el año 2022, la precisión en el registro de inventario alcanzó el 98,28 %, el cual se ha incrementado a un 99,79 % en el primer trimestre del 2023.

Lead time *de recepción y almacenado*. Previo a las mejoras, este tiempo promediaba 17,8 horas, lo que generaba retrasos en la disponibilidad de productos. Sin embargo, a través de acciones estratégicas, este tiempo se ha reducido a 15,4 horas, lo que representa una disminución del 13 %. Estos logros han sido posibles gracias a una planificación meticulosa antes de la llegada de la carga, una organización eficiente del equipo de recepción, un sistema de etiquetado diferenciado y una zona de separación estratégicamente diseñada. Estas mejoras han optimizado la eficiencia y agilidad en la disponibilidad de productos en el almacén central, además de aumentar la precisión en el seguimiento y registro de los productos, lo que contribuido a una gestión de inventario más precisa.

Dentro del proceso de preparación de pedidos, se resalta un indicador que evalúa la precisión. Este indicador refleja el porcentaje de pedidos que han sido preparados de forma incorrecta en relación al total de pedidos procesados.

Tasa de error de preparación. Durante el primer trimestre del 2022, antes de implementar mejoras, la tasa de error de preparación promediaba un 9,7 %. Sin embargo, tras la ejecución de mejoras durante el primer trimestre del 2023, esta tasa se redujo al 2,2 %. Diversas estrategias y modificaciones en el proceso de preparación de pedidos respaldaron esta mejora sustancial.

a. Implementación de un sistema de verificación en tiempo real. Se introdujo un sistema de verificación en tiempo real utilizando el *software* ICG Manager. Este sistema permitía el escaneo de productos durante el proceso de armado de pedidos y aseguraba su exactitud. Si se detectaban errores, el sistema generaba alertas inmediatas al operador, lo que permitía correcciones antes de continuar con el armado del pedido.

b. Colaboración con el equipo de soporte de sistemas. Se estableció una colaboración estrecha con el equipo de soporte de sistemas del *software* ICG Manager. Esta colaboración fue esencial para configurar y adaptar el sistema de verificación, según las necesidades específicas de la empresa, y optimizar así su eficiencia.

c. Análisis y mejora del proceso. Un análisis detallado del proceso de armado de pedidos identificó áreas propensas a errores y recopiló datos para evaluar el impacto de los errores en la precisión y eficiencia del proceso. Este análisis fue crucial para diseñar una solución efectiva.

d. Diseño y configuración del sistema. En colaboración con el equipo de soporte de sistemas, se diseñó y configuró el sistema de verificación en el *software* ICG Manager. Se establecieron criterios de verificación y se realizaron ajustes para permitir el escaneo y verificación de productos durante el armado de pedidos.

e. Capacitación y monitoreo. Se proporcionó capacitación al personal encargado del armado de pedidos sobre cómo utilizar el sistema de verificación y cómo interpretar las alertas generadas. Se estableció un proceso de monitoreo continuo para evaluar la efectividad del sistema, identificar áreas de mejora y realizar ajustes según fuera necesario.

Por otro lado, el proceso de despacho se ha enfocado en dos indicadores clave:

– *Entrega perfecta*. La métrica de entrega perfecta es esencial para evaluar la calidad del proceso y la satisfacción del cliente al medir la proporción de pedidos gestionados sin errores en las tiendas. La implementación del sistema de verificación en tiempo real, a través del *software* ICG Manager, y la colaboración cercana con el equipo de sistemas resultaron en una mejora significativa en la tasa de error de preparación. Esto impactó positivamente en la entrega perfecta. Por ello, garantizar la precisión desde la preparación inicial redujo los errores y mejoró la calidad del servicio. La introducción de un procedimiento de verificación en las tiendas, mediante escaneo de productos para compararlos con el pedido registrado, añadió un nivel adicional de control para asegurar entregas precisas y sin errores. Estas acciones coordinadas con el personal de

sistemas y el uso efectivo del *software* llevaron a mejoras notables en la tasa de entrega perfecta, lo que ha aumentado del 80,4 % durante el primer trimestre del 2022 a un destacado 97,8 % durante el primer trimestre del 2023.

– Lead time *de despacho*. La introducción del sistema de verificación en tiempo real y tecnologías como códigos de barras y escaneo de productos ha sido crucial para minimizar errores y garantizar la precisión en la preparación de pedidos. Esta optimización ha acelerado la verificación y preparación de pedidos, y ha reducido significativamente el tiempo requerido en esta etapa clave. La colaboración activa con el personal de sistemas y la integración de la verificación mediante escaneo de productos en las tiendas han fortalecido la precisión y confiabilidad del proceso de despacho.

El uso de dispositivos de escaneo al recibir el pedido ha agilizado la verificación de cada artículo, pues ha evitado discrepancias y reducido tiempos. Como resultado, el *lead time* de despacho se ha reducido significativamente de un promedio de 9 horas a 6,7 horas. Esto representa una notable disminución del 26 %. Estas mejoras reflejan una mayor eficiencia, agilidad y precisión en todas las etapas del proceso de despacho Para ello, se ha elaborado un resumen de los principales indicadores de los procesos logísticos de la empresa, así como los resultados obtenidos tras la implementación de mejoras (véase la Tabla 2).

Tabla 2

Resultados de los indicadores logísticos de la empresa Moda Salud

Nombre del proceso	Indicador	UM	Periodo	Medición (antes)	Medición (después)	Mejora del indicador
Planeación y gestión de inventario	Rotación de mercancía	Días	Trimestre 1	91	65	26
	Tasa de precisión del pronóstico	Unidades	Trimestre 1	MAD = 358	MAD = 152	MAD = 206
		Porcentaje		MAPE = 18 %	MAPE = 8,3 %	MAPE = 9,7 %
	Lead time de planeación (importación)	Horas	Enero	38,5	23,0	15,5
	Lead time de reposición de *stock*	Horas	Enero	5,5	2,3	3,2
Compras	*Lead time* de compras	Horas	Enero	14	8	6
	Calidad de los pedidos generados	Porcentaje	Trimestre 1	76 %	96 %	20 %

Recepción y almacenado	*Lead time* de recepción y almacenado	Horas	Enero	17,8	15,4	2,4
	Precisión en el registro de inventario	Porcentaje	Trimestre 1	98,28 %	99,79 %	1,5 %
Preparación de pedido	Tasa de error de preparación	Porcentaje	Trimestre 1	9,7 %	2,2 %	7,5 %
	Lead time de preparación de pedidos	Horas	Enero	2	2	0
Despacho	Entrega perfecta	Porcentaje	Trimestre 1	80,4 %	97,8 %	17,4 %
	Lead time de despacho	Horas	Enero	9	6,7	2,3

3.3 Resultados de la encuesta *net promoter score* posterior a la implementación

Mediante la implementación de mejoras impulsadas por la gestión por procesos, la empresa ha experimentado un avance en la satisfacción del cliente, el cual es evidenciado por un significativo aumento en el NPS de 13 a 43. Este incremento subraya la eficacia de la gestión por procesos en la optimización de la disponibilidad de *stock* y la eficiencia logística. Al abordar problemas previos, como la falta de estandarización y seguimiento, se han logrado mejoras tangibles en la satisfacción y retención del cliente. La gestión por procesos ha instaurado un entorno propicio para la mejora continua.

La combinación de observación directa y entrevistas ha permitido identificar áreas de oportunidad en los procesos logísticos y establecer procesos formales para la revisión de productos en recepción y almacenamiento. La adopción de indicadores clave de rendimiento ha sido crucial, pues ha permitido medir la productividad del personal y establecer metas claras para tiempos de entrega y respuesta en procesos críticos. La integración de herramientas tecnológicas ha agilizado la gestión, lo que ha reducido costos y mejorado la eficiencia general de los procesos logísticos (véase la Figura 5).

Figura 5

Resultados posteriores de la encuesta



3.4 Pruebas de hipótesis

Se realizó una prueba de diferencia de medias muestrales independientes a través del test de U de Mann-Whitney como prueba no paramétrica, debido a que las variables no siguen una distribución normal (véanse las tablas 3, 4 y 5). Se compararon dos grupos muestrales del mismo tamaño (n = 378) antes y después de la implementación de la gestión por procesos. Las hipótesis estadísticas planteadas fueron las siguientes:

- H_0: No hay diferencia significativa en la satisfacción de los clientes externos antes y después de la implementación de la gestión por procesos.
- H_1: Existe una diferencia significativa en la satisfacción de los clientes externos antes y después de la implementación de la gestión por procesos.

Los resultados indican una diferencia significativa en la satisfacción de los clientes externos después de la implementación de la gestión por procesos, respaldada por un p-valor de 0,001, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula y confirmar la hipótesis alternativa. Este hallazgo implica un aumento en la probabilidad de que los clientes recomienden a la empresa Moda Salud después de la implementación de la gestión por procesos en comparación con antes (véanse las tablas 3, 4 y 5). Adicionalmente, se ha elaborado un gráfico de intervalos de confianza que evidencia claramente diferencias en las medias antes y después de la implementación, lo cual respalda la mejora en la satisfacción de los clientes externos de la empresa Moda Salud (véase la Figura 6).

Tabla 3

Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Diferencia
N		378
Parámetros normales[a, b]	Media	-,6693
	Desv. Desviación	277 621
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,148
	Positivo	,148
	Negativo	-,108
Estadístico de prueba		,148
Sig. asintótica(bilateral)		,000[c]

Nota. a: la distribución de prueba es normal. b: se calcula a partir de datos. c: corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 4

Rangos de U de Mann Whitney

Rangos			
Probabilidad de recomendar a la empresa Moda Salud antes y después de la GP	Antes de la implementación de la GP	Número	378
		Rango promedio	341,12
		Suma de rangos	128 942,00
	Después de la implementación de la GP	Número	378
		Rango promedio	415,88
		Suma de rangos	157204,00
	Total	Número	756

Tabla 5

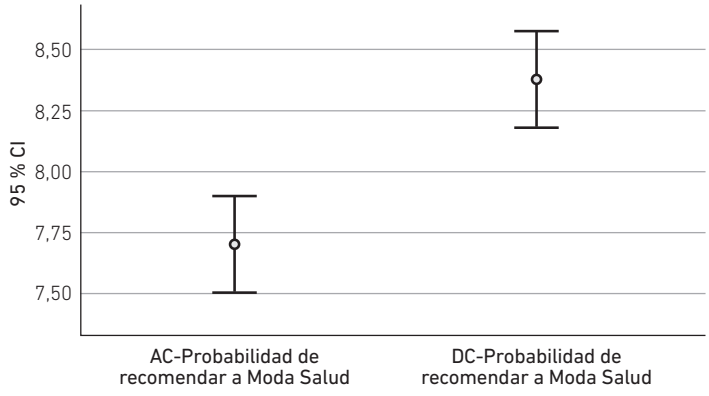
Prueba de U de Mann Whitney con significación

Estadísticos de prueba[a]	
U de Mann-Whitney	57 311 000
Z	-4,904
Sig. asintótica(bilateral)	,000

Nota. a: variable de agrupación - clientes antes y después.

Figura 6

Barras de intervalos de confianza para las medias antes y después



Nota. Resultados obtenidos en SPSS Statistics (versión 22).

4. DISCUSIÓN

La investigación revela de manera concluyente el impacto altamente significativo de la implementación de la gestión por procesos en la empresa Moda Salud, evidenciado por el aumento sustancial en el *net promoter score* (NPS) de 13 a 43. La prueba U de Mann-Whitney, con un p-valor de 0,001, respalda la hipótesis alternativa (H_1) y sugiere un cambio positivo en la satisfacción del cliente después de la adopción de la gestión por procesos. Es de particular importancia la notable disminución en el segmento de clientes pasivos, el cual descendió del 54 % al 30 % en las encuestas de satisfacción posteriores a la implementación.

En el contexto del NPS, este cambio indica una mejora en la percepción del cliente y una reducción en clientes con una satisfacción intermedia. Este fenómeno puede atribuirse directamente a las mejoras específicas en la disponibilidad de *stock* y la eficiencia logística resultantes de la gestión por procesos. Antes de la implementación, las deficiencias en estos aspectos podrían haber contribuido a una proporción significativa de clientes pasivos. Sin embargo, las acciones dirigidas a optimizar estos procesos han impactado positivamente en la satisfacción del cliente, lo que redujo la cantidad de clientes en la categoría pasiva y ha mejorado la competitividad general de la empresa. Este análisis respalda la eficacia de la gestión por procesos en la mejora de la experiencia del cliente y la posición competitiva de la empresa Moda Salud en el mercado.

En el marco de investigaciones anteriores, nuestros hallazgos se alinean de manera consistente con estudios relevantes. Por ejemplo, en el trabajo de Faltejsková et al. (2016) se exploró la integración del *net promoter score* (NPS) en el sistema de medición y

gestión del desempeño empresarial, aunque enfocado en la industria cervecera checa, y se destacó la importancia universal de medir la satisfacción del cliente y su impacto económico. En relación con ello, nuestra investigación respalda la eficacia del NPS como herramienta para evaluar y mejorar la satisfacción del cliente, lo que contribuye a la competitividad y al éxito en el mercado.

Gutiérrez (2016), quien resaltó la relevancia de la gestión por procesos para mejorar la calidad del servicio y reducir costos y tiempos innecesarios, encuentra eco en nuestra indagación. Observamos que la implementación de la gestión por procesos en la empresa Moda Salud no solo ha mejorado la calidad del servicio, como sugiere Gutiérrez (2006), sino que también ha generado un aumento sustancial en la satisfacción del cliente, evidenciado por el incremento del NPS.

Adicionalmente, la investigación de Figueroa (2018), centrada en mejorar la satisfacción del cliente en la empresa Alimentos El Sabor (Ecuador), comparte similitudes con nuestro enfoque cuantitativo para analizar datos logísticos y determinar su impacto en la satisfacción del cliente. Ambos estudios reconocen la importancia crucial de la gestión de procesos para optimizar la eficiencia operativa y obtener ventajas competitivas.

Finalmente, el trabajo de Barrios et al. (2019) sobre la influencia de la gestión por procesos en la competitividad y organización de pymes en Barranquilla respalda nuestra conclusión sobre la relevancia continua de la competitividad y el papel significativo que desempeña la gestión por procesos para impulsarla. La comparación de la literatura con la realidad sectorial, como aplicaron ellos, refuerza la validez y la aplicabilidad de nuestros resultados en el contexto específico de la empresa Moda Salud. En conjunto, estos estudios fortalecen la robustez y la relevancia de nuestros hallazgos, los cuales proporcionan un contexto enriquecido para comprender la importancia de la gestión por procesos en la satisfacción del cliente y la competitividad empresarial.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son concluyentes y muestran un impacto significativo de la gestión eficiente del inventario. Esta eficiencia se tradujo en una reducción notable en la rotación y el tiempo de ciclo, lo que se reflejó en una mayor eficiencia operativa y considerables ahorros financieros. Asimismo, se observaron mejoras sustanciales en el proceso de compras y en las etapas de recepción y almacenamiento, con mejoras en la calidad y precisión de los procesos.

Un punto que se destaca es el aumento significativo en la satisfacción de los clientes, medido a través del *net promoter score* (NPS), el cual experimentó un incremento de 13 a 43. Estos hallazgos poseen implicaciones estratégicas significativas y proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y mejoras continuas en el contexto empresarial.

6. REFERENCIAS

Agencia EFE. (2021, 16 de marzo). Más de 45,000 empresas dejaron de operar en Perú a raíz del COVID el 2020. *Gestión*. https://gestion.pe/economia/emprendedores-mas-de-45000-empresas-dejaron-de-operar-en-peru-a-raiz-del-covid-el-2020-noticia/

Atehortúa, D., Torres, F., & Caballero, M. (2018). *Inteligencia de negocios con Excel y Power BI.* Bii Soluciones & Excel Free Blog.

Baehre, S., O'dwyer, M., O'malley, L., & Lee, N. (2022a). The use of net promoter score (NPS) to predict sales growth: insights from an empirical investigation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *50*, 67-84. https://doi.org/10.1007/s11747-021-00790-2

Baehre, S., O'Dwyer, M., O'Malley, L., & Story, V. (2022b). Customer mindset metrics: a systematic evaluation of the net promoter score (NPS) vs. alternative calculation methods. *Journal of Business Research*, *149*, 353-362. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.048

Barrios, K., Contreras, J., & Olivero, E. (2019). La gestión por procesos en las pymes de Barranquilla: factor diferenciador de la competitividad organizacional. *Información Tecnológica*, *30*(2), 103-114. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200103

Business. Negocios en el Perú. (2019, 15 de julio). *Gestión por procesos en la era digital*. https://revistabusiness.com.pe/2019/07/gestion-por-procesos-en-la-era-digital/

Bustamante, J. (2021). Métodos de recolección de información para el análisis de la satisfacción del cliente. *Ixmati*, *7*(8), 27-34. https://doi.org/10.5281/zenodo.4818463

Chalupa, S., Petricek, M., & Ulrych, Z. (2021). The use of business process management in hotel direct sales improvement. *TEM Journal, 10*(1), 215-220. https://doi.org/10.18421/TEM101-27

Cruz, A., Orduña, M., & Álvarez, J. (2018). Evolución del concepto de calidad y los modelos de medición de calidad en el servicio. *Innovaciones de Negocios, 15*(30), 259-278. https://doi.org/10.29105/rinn15.30-7

Cruz, Y., López, C., Castro, C., & Arencibia, R. (2020). Adopción de tecnologías de gestión de procesos de negocio: una revisión sistemática. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 28*(1), 41-55. https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000100041

Faltejsková, O., Dvořáková, L., & Hotovcová, B. (2016). Net promoter score integration into the enterprise performance measurement and management system - A way to performance methods development. *Business Administration and Management, 19*(1), 93-107. https://doi.org/10.15240/tul/001/2016-1-007

Figueroa, M. (2018). *Propuesta de un modelo de gestión por procesos logísticos para mejorar el nivel de satisfacción del cliente de la empresa Alimentos El Sabor Cía. Ltda.* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional UCSG. http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10842

Gutiérrez, D. (2016). *La gestión por procesos y su incidencia en la satisfacción de los clientes en la clinica Santa María de la ciudad de Ambato* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19570

Happ, E., Scholl, U., Peters, M., & Schnitzer, M. (2021). Insights into customer experience in sports retail stores. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, *22*(2), 312-329. https://doi.org/10.1108/IJSMS-12-2019-0137

Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2020). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw Hill.

Hernández, A., Delgado, A., Marqués, M., Nogueira, D., Medina, A., & Negrín, E. (2016). Generalización de la gestión por procesos como plataforma de trabajo de apoyo a la mejora de organizaciones de salud. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, *15*(31), 66-87. https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.RGYPS15-31.GGPP

Koladycz, R., Fernandez, G., Gray, K., & Marriott, H. (2018). The net promoter score (NPS) for insight into client experiences in sexual and reproductive health clinics. *Global Health Science and Practice, 6*(3), 413-424. https://doi.org/10.9745/GHSP-D-18-00068

Kotler, P., & Keller, K. (2012). *Dirección de* marketing (14.ª ed.). Pearson.

Lewis, C., & Mehmet, M. (2020). Does the NPS® reflect consumer sentiment? A qualitative examination of the NPS using a sentiment analysis approach. *International Journal of Market Research, 62*(1), 9-17. https://doi.org/10.1177/1470785319863623

Lizarzaburu, E., Chávez, M., Barriga, G., & Castro, G. (2018). *Gestión de operaciones y calidad.* Pearson.

Medina, A., Nogueira, D., Hernández, A., & Comas, R. (2019). Procedimiento para la gestión por procesos: métodos y herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *27*(2), 328-342. https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000200328

Mennuto, P., Meca, J., & Bazán, P. (2021). BPM and socialization tools integrated to improve acquisition and management of information during design and execution of business processes. *Journal of Computer Science & Technology*, *21*(1), 59-70. https://doi.org/10.24215/16666038.21.e7

Mora, L. (2019). *Indicadores de la gestión logística.* Ecoe Ediciones.

Pardo, J. (2019a). *Configuración y usos de un mapa de procesos.* Aenor.

Pardo, J. (2019b). *Gestión por procesos y riesgo operacional.* Aenor.

Pérez, J. (2018). *Gestión por procesos* (5.ª ed.). Esic Editorial.

Piñuela-Espín, J., & Quito-Godoy, C. (2020). Los desafíos de la gestión por procesos en la era digital. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, (8), 131-148. https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.1

Reichheld, F., & Markey, R. (2012). *La pregunta decisiva 2.0.* Harvard Business Review Press.

Rohvein, C., Jaureguiberry, M., Urrutia, S., Roark, G., Chiodi, F., & Paravie, D. (2019). Modelo de madurez como base para el diagnóstico de la gestión de procesos pyme. *Revista Ingeniería Industrial*, *18*(1), 5-26. https://doi.org/10.22320/S07179103/2019.01

Silva, J., Macías, B., Tello, E., & Delgado, J. (2021). La relación entre la calidad en el servicio, satisfacción del cliente y lealtad del cliente: un estudio de caso de una empresa comercial en México. *CienciaUAT*, *15*(2), 85-101. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1369

Trejo, J., Soto, M., & Olivares, A. (2023). Optimización del *net promoter score* (NPS) con factores de expansión, una medición de experiencia de clientes en riesgo reputacional. *Contaduría y Administración*, *68*(3), 134-159. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2023.4626

Vigo, J., & González, J. (2020). Relación entre la calidad de servicio y la satisfacción del cliente en un laboratorio de análisis clínicos de Pacasmayo. *Revista Ciencia y Tecnología*, *16*(3), 57-66. https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2020.03.06

Identificación y análisis de estrategias de resiliencia del sector *retail* frente a disrupciones en la cadena de suministro

Gonzalo Alfredo Peña Tipian
http://orcid.org/0000-0003-4219-8935
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Rafael Antonio Pinto Matta*
http://orcid.org/0000-0002-1064-0189
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Ezilda Maria Cabrera Gil-Grados
https://orcid.org/0000-0002-4281-4817
Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 23 de enero del 2024 / Aceptado: 6 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6894

RESUMEN. Frente a la creciente problemática sobre disrupciones que afectan a la cadena de suministro de empresas alrededor del mundo, el presente artículo busca brindar un aporte teórico basado en la recopilación de estrategias de resiliencia que las enfrenta y de los conceptos que ello conlleva, tales como la capacidad proactiva, reactiva y restaurativa. Además, se realizó una revisión profunda de la literatura de la clasificación de los conceptos relevantes encontrados y la validación y discusión de la mano de expertos de un sector poco abarcado previamente: el *retail* en el Perú. Además, se identificaron las principales estrategias de resiliencia en diferentes cadenas de suministros a nivel global que podrían aplicarse al sector anteriormente mencionado. A estas se las agrupó en dieciséis macroestrategias propuestas, frente a ocho grandes disrupciones, y se aplicaron en tres fases de resiliencia (preparación, respuesta y recuperación). Se espera

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: 20171166@aloe.ulima.edu.pe; 20171191@aloe.ulima.edu.pe; ecabrera@ulima.edu.pe

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

que los resultados sirvan de guía para pequeñas, medianas o grandes empresas frente a futuros acontecimientos locales o globales que puedan afectar su cadena de suministro.

PALABRAS CLAVE: cadena de suministro / tecnologías disruptivas / resiliencia organizacional / comercio al por menor / COVID-19

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF RESILIENCE STRATEGIES FOR THE RETAIL SECTOR IN THE FACE OF SUPPLY CHAIN DISRUPTIONS

ABSTRACT. Faced with the growing problem of disruptions affecting the supply chains of companies around the world, this article seeks to provide a theorical contribution based on the compilation of resilience strategies and the concepts they entail. A thorough literature review, classification of the relevant concepts found, and validation and discussion by experts in a sector that has not been previously covered, which is retail in Peru, were carried out. The main resilience strategies in different global supply chains that could be applied on the retail sector were identified, grouping them into 16 proposed macro strategies, facing 8 major disruptions and applicable in 3 phases of resilience (preparedness, response and recovery). The results are expected to serve as a guide for small, medium or large companies in the face of future local or global events that may affect their supply chain.

KEYWORDS: supply chain / disruptive technologies / organizational resilience / retail trade / COVID-19

1. INTRODUCCIÓN

La pandemia del COVID-19 afectó a muchos sectores y demostró la fragilidad de las cadenas de suministros (CS) a nivel global. Según un reporte de la revista *Fortune* (Sherman, 2020), el 94 % de las empresas del Fortune 1000 tuvo disrupciones en su CS a inicios de la pandemia, debido a la gran dependencia de proveedores de China. Asimismo, de acuerdo con el Instituto de Investigación de Capgemini (2020), durante el 2020 más del 80 % de las empresas sufrieron impactos negativos en su CS como efecto de la crisis. Al 68 % de las empresas y al 71 % de las del sector *retail* les habría tomado más de tres meses recuperarse. Con respecto al Perú, el índice de la producción nacional, en el 2020, registró una reducción del 11,12 %, por lo que el comercio minorista se vio afectado con una disminución del 17,34 % (Instituto Nacional Estadística e Informática [INEI], 2021).

El sector *retail* o comercio minorista está conformado por las empresas especializadas en la distribución directa y, usualmente, masiva de productos o servicios estandarizados a consumidores finales, lo que incluye formatos como supermercados, tiendas por departamento o tiendas de ropa (Perú Retail, 2023). En los últimos años, este sector ha tenido un gran impacto en la economía del Perú, pues ha representado el 10,3 % del PBI en el 2019 (INEI, 2020), por lo que el efecto de grandes disrupciones en este sector afecta directamente a la economía.

En tal sentido, los *retailers* son parte crucial de las CS, pues son el eslabón más cercano a los clientes (Chowdhury et al., 2020); por ello, es necesario que puedan hacer frente a los problemas que surjan en sus CS. Entre los principales problemas traídos por la pandemia a las CS se encuentran la fuerte caída o incremento abrupto de demanda en ciertos productos, la escasez de recursos, el aumento en los precios, el bajo flujo de efectivo, las restricciones en el transporte internacional, el cierre de operaciones de empresas, las restricciones en la circulación y establecimiento físicos, y las amenazas a la salud y seguridad de los trabajadores (Chowdhury et al., 2020; Paul et al., 2021a).

En la actualidad, abundan las cadenas de abastecimiento multinivel distribuidas globalmente (Moosavi & Hosseini, 2021). Su compleja estructura las hace vulnerables al riesgo (Hsu et al., 2021), por lo que es vital que cuenten con las capacidades y estrategias necesarias para ser más resilientes frente a grandes problemas. Los riesgos de disrupciones se diferencian de los riesgos operacionales, ya que los primeros tienen menor probabilidad de ocurrir y son más difíciles de predecir, pero generan mayores impactos en los flujos de las CS (Alikhani et al., 2021). Frente a tal realidad, según Scholten et al. (2014) y Datta et al. (2007), se considera a la resiliencia como la exploración proactiva, estructurada e integrada de capacidades dentro de las CS que ayuda a afrontar disrupciones y es capaz de minimizar los impactos al recuperar rápidamente el estado original o uno mejor.

Entonces, con la presente investigación se buscó responder a la siguiente pregunta: ¿qué estrategias permiten a una empresa del sector *retail* ser resiliente en su cadena de suministro frente a grandes disrupciones? Además, los objetivos específicos que fueron abordados son los siguientes:

- O1: recoger y analizar la literatura existente en materia de resiliencia de cadenas de suministro.
- O2: identificar y clasificar las disrupciones, dimensiones y estrategias de resiliencia, aplicables al sector presentadas en artículos académicos.
- O3: valorar las estrategias en las etapas de la resiliencia y frente a las principales disrupciones en la CS.

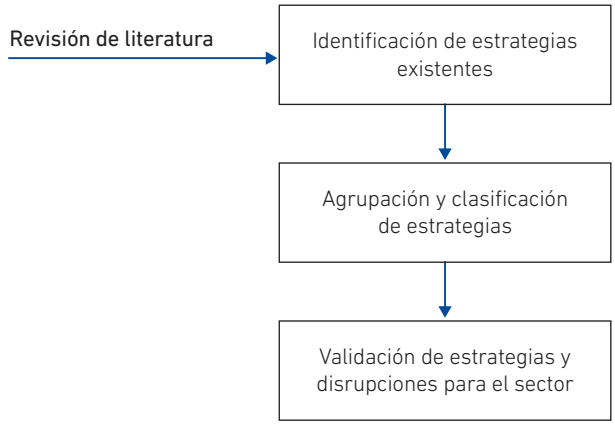
Las problemáticas de la última pandemia en torno a las CS, así como los conceptos de disrupciones y resiliencia, han sido motivo de una gran cantidad de investigaciones. Para abordar tanto los efectos de las disrupciones en las CS como las estrategias de resiliencia, autores alrededor del mundo han utilizado diferentes enfoques y metodologías:

- Revisiones de literatura (Elleuch et al., 2016; Tortorella et al., 2021)
- Estudios experimentales con modelos de optimización y simulación (Alikhani et al., 2021; Moosavi & Hosseini, 2021)
- Estudios no experimentales transversales cuantitativos (Sharma et al., 2021), cualitativos (Chowdhury et al., 2020) y mixtos (Paul et al., 2021a)

Existen investigaciones relacionadas al sector *retail* como las de Alikhani et al. (2021), Sharma et al. (2021) y Chowdhury et al. (2020); sin embargo, se evidencia la falta de presencia académica en esta materia dentro de la región latinoamericana. A diferencia de los autores previamente mencionados, el presente artículo agrupa las estrategias de resiliencia aplicables al sector en estudio, así como las principales disrupciones en la CS, para validarlas de acuerdo con su aplicabilidad en el campo (véase la Figura 1).

Figura 1

Etapas de la investigación realizada



2. METODOLOGÍA

La investigación tiene un alcance descriptivo y no experimental, basado en la revisión de la literatura junto a una validación de la mano de expertos. Para la revisión de literatura, se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus de las palabras clave *supply chain*, *resilience* y *strategies*. El contenido de los artículos se revisó cuidadosamente según la pregunta de investigación, siguiendo criterios y filtros de inclusión que se evidencian en la Figura 5. Después, se recurrió a bases de datos adicionales (Emerald, Science Direct y ProQuest) siguiendo los mismos filtros para obtener el total de investigaciones analizadas.

Se analizaron las fuentes seleccionadas bajo tres focos: disrupciones, dimensiones de resiliencia y estrategias. Con los resultados obtenidos, se propuso una macroclasificación de las estrategias, junto a las disrupciones y dimensiones de resiliencia encontradas. Después se validaron y discutieron los resultados obtenidos en la literatura contrastando con opiniones de expertos del sector *retail* en el Perú. Se recurrió a seis expertos en el sector y profesionales académicos de las cadenas de suministro para validar los términos utilizados, conocer su opinión y discutir la aplicabilidad y relevancia para el sector de los resultados obtenidos. Se consideraron las opiniones, junto a las de los autores de esta investigación, en la sección de discusión.

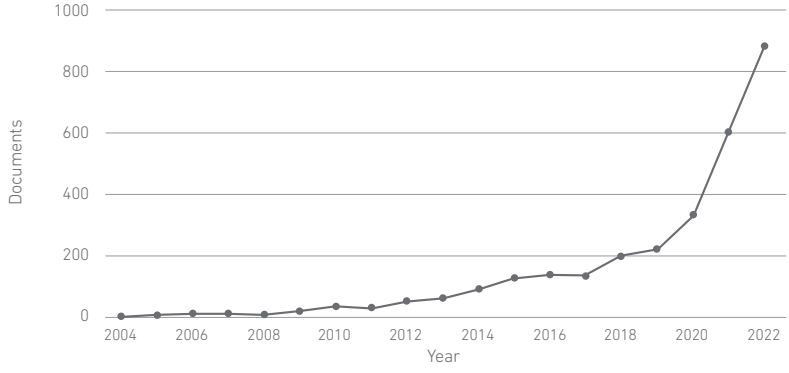
3. RESULTADOS

Analizando la bibliografía en el portal Scopus, se notó la creciente tendencia de investigaciones en las materias del presente artículo. 545 investigaciones se publicaron durante el año 2020, 1547 en el 2021 y 1878 en el 2022, todas bajo las palabras clave de *covid* y *supply chain*. Por su parte, la resiliencia en la CS ha recibido un significativo mayor

interés en los últimos años con 322 registros de publicaciones en el año 2020, 636 en el 2021 y 884 en el 2022, bajo las palabras clave de *resilience* y *supply chain* (véase la Figura 2). Además, se evidencia la poca presencia de publicaciones en países en desarrollo (véase la Figura 3) y un gran aporte en las áreas de gestión empresarial, ingeniería, ciencias de decisión y ciencias computacionales (véase la Figura 4).

Figura 2

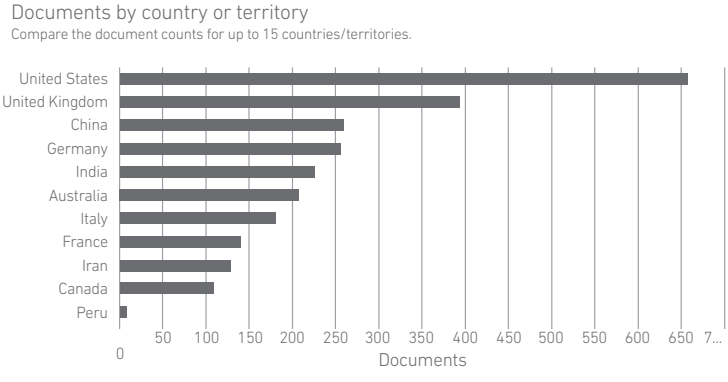
Evolución de investigaciones en Scopus sobre resiliencia en la CS



Nota. De "Analyze search results" por Scopus, 2023 (https://www-scopus-com.ezproxy.ulima.edu.pe/term/analyzer.uri?sid=4f2ca280842e7ad248e1f291e8f871ba&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28resilience+%22supply+chain%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=40&count=2448&analyzeResults=Analyze+results&txGid=a053c575f749420409a86a75e9ff5040).

Figura 3

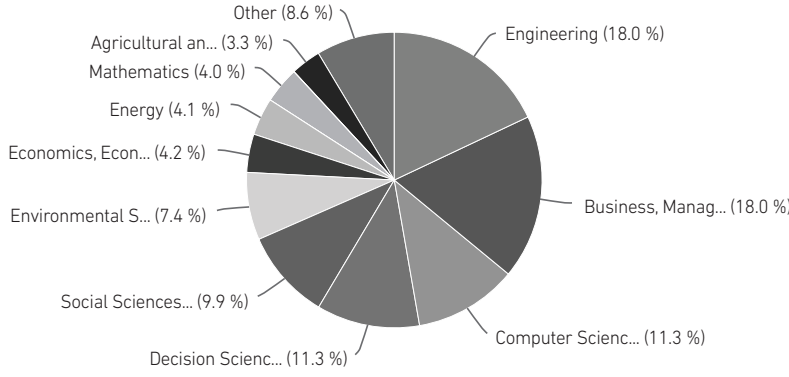
Países con más investigaciones en Scopus sobre resiliencia en la CS



Nota. De "Analyze search results" por Scopus, 2023 (https://www-scopus-com.ezproxy.ulima.edu.pe/term/analyzer.uri?sid=4f2ca280842e7ad248e1f291e8f871ba&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28resilience+%22supply+chain%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=40&count=2448&analyzeResults=Analyze+results&txGid=a053c575f749420409a86a75e9ff5040).

Figura 4

Distribución de investigaciones en Scopus sobre resiliencia en la CS por área de estudio

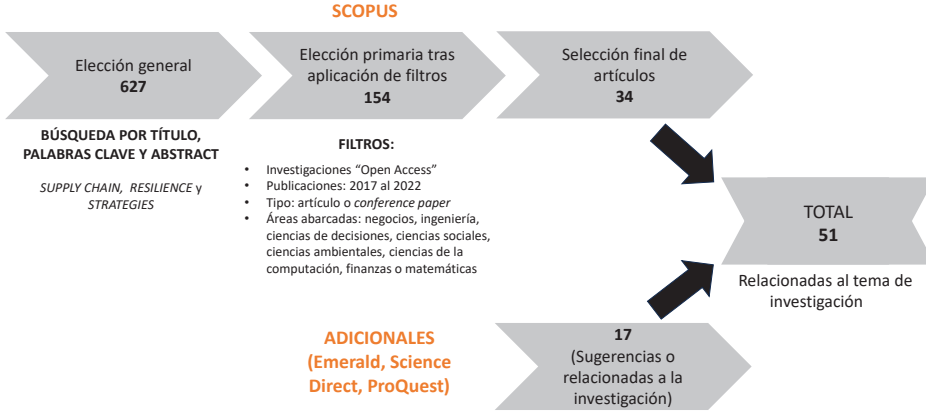


Nota. De "Analyze search results" por Scopus, 2023 (https://www-scopus-com.ezproxy.ulima.edu.pe/term/analyzer.uri?sid=4f2ca280842e7ad248e1f291e8f871ba&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28resilience+%22supply+chain%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=40&count=2448&analyzeResults=Analyze+results&txGid=a053c575f749420409a86a75e9ff5040)

Siguiendo la metodología de búsqueda descrita, se llegó a un total de 51 investigaciones, de las cuales 34 fueron recopiladas desde Scopus y 17 de las bases de datos complementarias (véase la Figura 5).

Figura 5

Proceso de recolección de data en base a criterios de búsqueda



En las tablas 1 y 2 se sintetizó la información de las investigaciones evidenciando los principales aportes y contextos en los que se desarrollaron.

Tabla 1

Características de investigaciones revisadas

Sector	Cantidad	Alcance geográfico	Pandemia	Prepandemia
Empresas en general	13	Global (10), Turquía (1), Vietnam (1), Europa central (1)	12	1
Manufactura	6	Uganda (1), Irán (1), India (2), Indonesia (1), Estados Unidos (1)	5	1
Textil y confecciones	5	Global (1), Bangladesh (1), India (1), Reino Unido (1), Italia (1)	4	1
Retail	5	Global (1), India (1), Irán (1), China (1), Emiratos Árabes Unidos (1)	5	0
Cuidado de la salud y farmacéutico	4	Global (2), Europa (1), India (1)	2	2
Automotriz	3	Irán (2), Tailandia (1)	3	0
Alimentario	3	Global (1), México (1), Australia (1)	3	0
Industria del metal	2	Irán (1), India (1)	2	0
Pymes en general	1	Bangladesh (1)	1	0
Pymes de calzado	1	Reino Unido (1)	1	0
Pymes alimentarias	1	Global (1)	1	0
Automotriz y aerolíneas	1	Global (1)	1	0
Retail de belleza y cuidado personal	1	Bangladesh (1)	1	0
Industria de moda sostenible	1	China (1)	1	0
Confección y alimentario	1	Bangladesh (1)	1	0
Retail, agricultura, farmacéutica y electrónica	1	Italia (1)	1	0
Farmacéutico y agua mineral	1	Global (1)	1	0
Operadores logísticos	1	Emiratos Árabes Unidos (1)	1	0

Tabla 2

Aportes de las investigaciones revisadas

Autores	Aporte
Chowdhury et al. (2021)	Identifican el impacto de la pandemia en las CS, las estrategias para gestionarlos y recuperarse, el rol de la tecnología y la sostenibilidad, proponiendo direcciones para futuras investigaciones.
Belhadi et al. (2021)	Miden el nivel de resiliencia en dos CS con el tiempo de recuperación y el impacto financiero, e identifican estrategias de resiliencia de corto y largo plazo. Incluyen juicio de expertos y encuestas.
Sharma et al. (2020)	Recogen los principales desafíos que trajo la pandemia a las CS y las estrategias aplicadas por las empresas, así como la propuesta de estrategias para el futuro utilizando herramientas de análisis.
Gölgeci y Kuivalainen (2020)	Analizan con encuestas a 275 empresas sobre el rol del capital social y la resiliencia de la cadena, considerando la capacidad de absorción y la alineación de la gestión de *marketing* y de la CS.
Tukamuhabwa et al. (2017)	Analizan la resiliencia en la CS de empresas de un país en desarrollo midiendo las interrelaciones entre disrupciones, estrategias y resultados. Estudian la migración de riesgo.

(*continúa*)

(*continuación*)

Ivanov (2021)	Analizan casos de estudio, la aplicación de estrategias frente a la pandemia, mostrando cómo se alinean con la viabilidad de la CS, y desarrollan un modelo matemático para medir su impacto.
Lücker et al. (2018)	Analizan con un modelo matemático la aplicación de estrategias para manejar el riesgo de disrupciones según el tipo de producto (funcional o innovador) y las características de la CS (ágil o eficiente).
Paul et al. (2021a)	Identifican los principales desafíos de recuperación de la industria textil y sus interrelaciones a través del método *delphi* y Grey-DEMATEL, con el fin de recomendar estrategias a seguir.
Katsaliaki et al. (2021)	Sintetizan la información sobre los tipos de disrupciones en las CS, sus impactos, las estrategias de resiliencia, los métodos de modelado para estudiar las disrupciones, las herramientas de TI recomendadas y los vacíos existentes en las investigaciones.
Weskamp et al. (2019)	Desarrollan un modelo de programación para medir la aplicación de estrategias de postergación bajo incertidumbre en la demanda considerando la actitud hacia el riesgo de la toma de decisiones.
Ali et al. (2021)	Proponen estrategias reactivas de resiliencia en la CS aplicables en el corto y largo plazo con altos y bajos costos para afrontar las disrupciones.
Chowdhury et al. (2020)	Analizan cómo el suministro de *retailers* se ha visto interrumpido por la pandemia y cómo pueden sobresalir con estrategias de resiliencia.
Gholami-Zanjani et al. (2021)	Proponen diseñar un modelo matemático para diseñar una cadena de suministro alimentaria resiliente frente a disrupciones relacionadas a epidemias y cambios en la demanda.
Sharma et al. (2021)	Definen determinantes para mejorar el desempeño de la CS y estrategias de resiliencia a aplicar, las cuales son priorizadas con el juicio de expertos.
Majumdar et al. (2021)	Identifican doce riesgos en las CS y trece estrategias para mitigarlos, utilizando un modelo de escenario de toma de decisiones de grupo (fuzzy TOPSIS) para priorizar las estrategias.
Hsu et al. (2021)	Identifican los principales riesgos y factores que mejoran la resiliencia en las CS sostenibles, midiendo sus relaciones y priorizando los factores bajo un modelo de despliegue de la función de calidad.
Moosavi y Hosseini (2021)	Desarrollan un modelo de simulación para medir cuantitativamente el impacto de las estrategias de *stocks* de seguridad y contar con proveedores de respaldo sobre la resiliencia de una CS.
Alikhani et al. (2021)	Modelan una red de CS resiliente frente a disrupciones con resultados sinérgicos positivos con la aplicación de estrategias.
Paul et al. (2021b)	Exploran estrategias de la CS para asegurar la robustez y resiliencia en la etapa pospandemia, que son priorizadas con el juicio de expertos.
Michel-Villarreal et al. (2021)	Identifican capacidades y estrategias de resiliencia en las CS, analizando su aplicación y el rol de las tecnologías digitales para desarrollarlas dentro de dos casos de estudio.
Zhang et al. (2021)	Analizan el rol de la estrategia omnicanal para mejorar la resiliencia en la CS de una empresa líder frente a la pandemia.
Shen y Sun (2021)	Exploran los desafíos que pasaron las CS de *retail* en China durante el brote de la pandemia y la buena respuesta que tuvo una empresa líder de *retail* (*e-commerce*).
Ganguly y Kumar (2019)	Identifican y determinan la importancia de estrategias de resiliencia en la CS con la información de veintitrés expertos del sector usando una técnica de toma de decisiones multicriterio.

(*continúa*)

(*continuación*)

Trabucco y De Giovanni (2021)	Analizan el impacto que generan las estrategias omnicanal esbeltas y los mecanismos de coordinación en la CS para hacer que las empresas sean sostenibles y resilientes ante disrupciones.
Das et al. (2021)	Analizan e identifican los factores críticos que afectan las CS globales. Realizan una evaluación de las estrategias para reducir los riesgos en los eslabones de la CS que permiten volverla resiliente.
Ozdemir et al. (2022)	Proponen los factores más influyentes de resiliencia frente a grandes disrupciones en la CS, recopilando información de 282 empleados del sector *retail*.
Raj et al. (2022)	Proponen un modelo conceptual bajo la teoría de capacidad dinámica para analizar desafíos del sector y estrategias de mitigación.
Van Hoek y Dobrzykowski (2021)	Analizan el impacto que generaría aplicar la estrategia de *reshoring* de tres empresas durante el COVID-19, de manera que les permita ser resilientes ante futuros escenarios disruptivos en la CS.
Ali et al. (2022)	Examinan las estrategias de resiliencia aplicadas por 231 empresas del sector bajo las capacidades dinámicas de preparación, respuesta y recuperación.
Sundarakani y Onyia (2021)	Desarrollan un modelo conceptual para alcanzar la resiliencia del negocio en las empresas del sector, analizando su aplicación durante la pandemia en las principales empresas logísticas del país.
Kazemian et al. (2022)	Identifican las capacidades, factores y estrategias de resiliencia en la CS cuantificando sus interdependencias con un enfoque DEMATEL-ANP con base en el juicio de expertos.
Butt (2021)	Analizan las medidas de respuesta para mitigar el impacto de la pandemia en las CS de las cuatro empresas de *retail* más grandes del país.
Lotfi et al. (2022)	Desarrollan tres modelos robustos de optimización bajo la aplicación de la estrategia de inventarios gestionados por el proveedor para mejorar su gestión y lidiar con disrupciones.
Vali-Siar y Roghanian (2022)	Proponen un modelo de programación lineal mixto para demostrar cómo las estrategias resilientes logran la sostenibilidad frente a problemas y riesgos generados por el COVID-19.
Hossain et al. (2022)	Analizan el nexo entre el COVID-19 y las pymes, explorando las áreas más afectadas y las estrategias resilientes en las CS aplicadas.
Vanany et al. (2021)	Analizan la capacidad de resiliencia en la CS de dos empresas estudiadas frente a grandes disrupciones como el COVID-19. Además, identifican estrategias para afrontarla.
Spieske et al. (2022)	Presentan un caso de estudio con entidades de salud relacionando las estrategias para mejorar la disponibilidad de suministros médicos y actuar con resiliencia frente a otra posible pandemia.
Nguyen et al. (2022)	Analizan el resultado de cómo una adecuada financiación en la CS puede confrontar el riesgo con resiliencia frente a una disrupción. Analizan 860 pymes para deducir si el impacto es positivo.
Aloui et al. (2021)	Proponen una simulación con Monte Carlo, en la cual se incluye la resiliencia mediante las estrategias de aumento de capacidad y colaboración logística de manera que pueden mejorar la resiliencia y la sostenibilidad en la CS de una empresa.
Dehghani et al. (2021)	Proponen el diseño resiliente y robusto de una CS de la industria del metal mediante la proposición de estrategias que permitan mitigar y prevenir el impacto de posibles disrupciones.
Moosavi et al. (2022)	Analizan las características de la literatura existente y presentan estrategias para alcanzar resiliencia y sostenibilidad en la CS.

(*continúa*)

(*continuación*)

Tortorella et al. (2021)	Recogen de la literatura los principales aportes en resiliencia e integración de la industria 4.0 en la gestión de la CS para clasificar las tecnologías según su rol y desarrollar un modelo conceptual de capacidades y habilidades de resiliencia.
Viltard (2020)	Proponen un modelo conceptual basado en los principios de entender a los clientes, construir y mejorar la experiencia, reestructuración organizacional, tecnología y operaciones en la CS.
Braglia et al. (2022)	Miden la resiliencia de dos empresas basándose en la evolución de KPI e identifican los factores y estrategias de resiliencia aplicados.
Badhotiya et al. (2022)	Identifican que las CS deben ser correctamente planificadas y proyectadas, presentan indicadores de resiliencia y miden su interrelación y nivel de influencia.
Namdar et al. (2022)	Realizan una revisión de literatura de estrategias que se complementan para lograr resiliencia y desarrollan un modelo de simulación contrastando las estrategias con escenarios de disrupciones.
Kaeo-Tad et al. (2021)	Proponen una revisión de literatura para recopilar información e implementar prácticas de resiliencia. Analizan tres empresas de las cuales correlacionan sus prácticas durante la pandemia.
Bret et al. (2021)	Proponen un camino para mejorar la resiliencia en la CS mediante la aplicación de estrategias para mitigar los riesgos de manera que se prevea o se reaccione a tiempo frente a alguna disrupción.
Sambowo y Hidayatno (2021)	Desarrollan un índice de resiliencia aplicable a diferentes industrias manufactureras como guía para implementar estrategias de resiliencia.
Schiele et al. (2021)	Proponen una estrategia de gestión de la sincronización para reducir el impacto en las CS frente a una disrupción, para luego plantear mejoras en los flujos operativos y estratégicos.
Vimal et al. (2022)	Miden el impacto del efecto dominó de las disrupciones en la CS y la aplicación de estrategias de resiliencia con un modelo de simulación basado en el análisis de KPI.

Siguiendo los objetivos de investigación, se presenta la información más relevante recogida de las disrupciones, resiliencia y las estrategias en la CS desarrolladas o recomendadas en los artículos revisados.

3.1 Disrupciones en la cadena de suministro

Tukamuhabwa et al. (2017) clasifica las amenazas de las CS en endógenas (originadas desde dentro por el abastecimiento, la empresa focal o la demanda) y exógenas (desde fuera como las geopolíticas o económicas). Entre las principales se encuentran los desastres naturales; epidemias; conflictos, guerras e inestabilidad política; cambios abruptos en regulaciones normativas; ataques deliberados; y grandes accidentes (Tukamuhabwa et al., 2017). Raj et al. (2022) agrupan los desafíos a la CS en las etapas de abastecimiento, demanda y logística. Hsu et al. (2021) clasifican los riesgos en riesgos de producción, gestión, información, abastecimiento-demanda y ambientales. Chowdhury et al. (2021) profundizan en los impactos de la pandemia en las CS agrupándolos en la gestión de la demanda, el abastecimiento, la producción, el transporte y logística, las relaciones, las finanzas, la sostenibilidad y a toda la cadena junta.

Por el lado de la oferta, Raj et al. (2022) resaltan las restricciones e incertidumbre en los proveedores que generan volatilidad en precios y cantidades de compra. La escasez y subida de precio de productos, junto a la fluctuación del tipo de cambio, intereses bancarios y restricciones de importación o exportación, son problemas que afectan gravemente a las CS (Chowdhury et al., 2021; Majumdar et al., 2021). La demanda se ve afectada en incertidumbre e irregularidades por cambios abruptos en el comportamiento de compra, generando aumentos o reducciones repentinas y pronunciadas en las cantidades demandadas, así como, en los canales de compra utilizados (Chowdhury et al., 2021; Raj et al., 2022; Majumdar et al., 2021).

Asimismo, bloqueos, demoras o deficiencias en los canales de transporte por escasez de flotas, restricciones de tránsito, cierres o pérdidas de canales de distribución generan grandes disrupciones (Chowdhury et al., 2021; Paul et al., 2021a). Otro problema importante es la falta de fuerza de trabajo por escasez de trabajadores calificados o la incapacidad de laborar por restricciones laborales, horarios restringidos, amenazas a la salud y seguridad, grandes migraciones, entre otros (Chowdhury et al., 2021; Raj et al., 2022). Por ejemplo, los cierres de instalaciones por contagios, tanto propias como de socios (proveedores, intermediarios, distribuidores u operadores), son otra de las disrupciones con mayor impacto (Chowdhury et al., 2021). Katsaliaki et al. (2021) también resaltan el riesgo de no contar con un socio, ya sea por su bancarrota, su compra por otra empresa o por sabotaje deliberado. Los recursos físicos necesarios para la operación logística, como equipos, almacenes, vehículos o mercadería, también están expuestos al severo deterioro o destrucción por factores como desastres naturales, accidentes humanos o ataques deliberados (Katsaliaki et al., 2021; Majumdar et al., 2021). Los problemas financieros, como el bajo nivel de liquidez o flujo de efectivo junto a la inestabilidad y escasez de recursos financieros, significan también graves problemas (Paul et al., 2021a).

Por otro lado, el riesgo de la información, considerado por Hsu et al. (2021), no se encontró muy desarrollado en la revisión de literatura realizada; sin embargo, al conversar con expertos del sector, se consideró como disrupciones relevantes las del uso de sistemas de información. Dentro de estas, se encuentran la inhabilitación parcial o total del uso de los sistemas de información y de operaciones, así como la pérdida o inconsistencias de la información en los sistemas.

Asismimo, la agrupación de disrupciones propuesta enfocada al *retail* se representa en la Tabla 3. Las disrupciones en transporte se dividieron al considerarse las dos etapas marcadas entre el abastecimiento y la distribución.

Tabla 3

Disrupciones en las CS de retail

Tipo de disrupciones	Definición
En gestión de la oferta y demanda	Cambios abruptos e inesperados en el comportamiento de los consumidores (que genera aumento o reducción en las cantidades demandadas y cambios en las preferencias de compra), escasez de productos o aparición de leyes que prohíben la venta de ciertos productos.
En transporte de abastecimiento	Disrupciones en los elementos de transporte que son parte del flujo regular del abastecimiento: inhabilitación parcial o total del tránsito por los canales de transporte, escasez de flotas, baja o nula disponibilidad de transportistas (por ejemplo, por huelgas o contagios), entre otros.
En transporte de distribución o última milla	Inhabilitación parcial o total de canales de distribución físicos, restricciones en el tránsito de vehículos, escasez de flotas de distribución y baja o nula disponibilidad de repartidores —que sean parte del flujo regular— por desastres, huelgas, cambios en legislaciones, clausuras, contagios, etcétera.
En factor humano	Gran reducción en disponibilidad de trabajadores adecuados por casos o riesgos de contagios de enfermedades, restricciones en horarios, renuncias o despidos masivos, huelgas, fuga de talento, entre otros.
En operaciones de socios	Cierres parciales o totales de operaciones de socios de las CS, tales como proveedores, operadores logísticos o distribuidores.
En uso de instalaciones y recursos físicos	Severo deterioro, destrucción o hurto de recursos físicos en la CS (como equipos de acarreo, almacenaje, vehículos, mercadería, etcétera) necesarios para la operación regular en la CS, así como inhabilitación parcial o total en el uso de locales físicos como almacenes, *hubs* y tiendas.
En recursos financieros	Escasez o gran inestabilidad en recursos financieros y flujo de liquidez en la propia empresa o en los socios de la CS.
En uso de sistemas de información	Inhabilitación parcial o total del uso de los sistemas de información y de operación dentro de la CS, grandes pérdidas o inconsistencias de la información.

3.2 Resiliencia en la cadena de suministro

Braglia et al. (2022) definen la resiliencia como la capacidad operativa de la cadena de suministro para resistir, adaptarse y recuperarse de las interrupciones con un coste mínimo para garantizar la demanda. Existen diferencias en la definición de resiliencia (véase la Tabla 4). Varios autores (Alikhani et al., 2021; Aloui et al., 2021; Belhadi et al., 2021) la analizan en capacidades proactivas y reactivas. Autores como Tukamuhabwa et al. (2017) consideran que se puede aplicar tanto proactiva como reactivamente. Además, Alikhani et al. (2021) consideran una tercera capacidad llamada *calidad de diseño de red*; Tukamuhabwa et al. (2017), las estrategias concurrentes, que se aplican rápidamente como primeras respuestas.

Por su parte, Michel-Villareal et al. (2021) identifican como principales capacidades de resiliencia a la agilidad, flexibilidad, colaboración, redundancia y visibilidad. Sambowo y Hidayatno (2021) la abordan en los factores de robustez, ingenio, redundancia y rapidez. Schiele et al. (2021) consideran la capacidad absorbente de resiliencia y la capacidad adaptativa. Kazemian et al. (2022) y Tortorella et al. (2021) también utilizan estas capacidades y añaden la restaurativa (véase la Tabla 4).

Otra clasificación es el de las dimensiones de preparación, respuesta y recuperación (Ali et al., 2022; Chowdhury et al., 2021). Badhotiya et al. (2022) utilizan estas dimensiones como fases de los indicadores de resiliencia, agrupando la respuesta y la recuperación en una sola fase y añadiendo la fase de resistencia. Sundarakani y Onyia (2021) utilizan un enfoque de cuatro fases para la gestión de emergencias con la preparación, respuesta y recuperación, agregando una fase inicial de mitigación que busca eliminar la probabilidad o consecuencias de la disrupción. Kaeo-Tad et al. (2021) utilizan un modelo del ciclo de la resiliencia donde se incluyen las tres fases iniciales, adicionando la de prevención y protección que aseguran los sistemas físicos y virtuales para minimizar los impactos (véase la Tabla 4).

Tabla 4

Componentes de la resiliencia en las CS

Concepto	Definición
Capacidad proactiva	Aquella que permite reconocer, anticiparse y mitigar las disrupciones antes de sus consecuencias (Alikhani et al., 2021).
Capacidad reactiva	Aquella que permite responder y recuperarse de disrupciones, regresando al estado normal o a uno mejor en el menor tiempo posible (Alikhani et al., 2021).
Capacidad de calidad de diseño de red	Se conforma por la densidad o cantidad de nodos, la complejidad de la red y la criticidad de nodos dentro de una CS (Alikhani et al., 2021).
Estrategias concurrentes	Aquellas que se aplican rápidamente como primeras respuestas en el momento de una disrupción (Tukamuhabwa et al., 2017).
Robustez	Fortaleza de un sistema para resistir a una disrupción sin perder funcionalidad (Bruneau et al., 2003, como se cita en Sambowo & Hidayatno, 2021)
Ingenio	Habilidad de identificar problemas, definir prioridades y movilizar recursos (Bruneau et al., 2003, como se cita en Sambowo & Hidayatno, 2021)
Redundancia	Nivel de un sistema de poder ser reemplazado tras una pérdida de funcionalidad (Bruneau et al., 2003, como se cita en Sambowo & Hidayatno, 2021)
Rapidez	Capacidad de cumplir objetivos a tiempo regresando al estado original (Bruneau et al., 2003, como se cita en Sambowo & Hidayatno, 2021)
Capacidad absorbente	Permite resistir de manera robusta con redundancia, rapidez y agilidad preservando los procesos y minimizando las consecuencias negativas (Schiele et al., 2021; Tortorella et al., 2021).

(*continúa*)

(*continuación*)

Concepto	Definición
Capacidad adaptativa	Habilidad para cambiar los procesos, utilizar nuevos recursos y prácticas para sobresalir a las disrupciones usando el ingenio, adaptabilidad y flexibilidad (Schiele et al., 2021; Tortorella et al., 2021).
Capacidad restaurativa	Permite restaurar rápida y eficientemente la CS a un estado cercano al original o a uno nuevo (Kazemian et al., 2022; Tortorella et al., 2021).
Preparación	Capacidad de anticiparse a disrupciones de manera proactiva buscando eliminar o reducir su impacto (Chowdhury & Quaddus, 2016; Ponomarov & Holcomb, 2009).
Respuesta	Aquella que permite actuar rápida y efectivamente en el momento para minimizar los impactos inmediatos (Chowdhury & Quaddus, 2016; Ponomarov & Holcomb, 2009).
Recuperación	Capacidad de retornar al estado original o a uno mejor después de la disrupción (Chowdhury & Quaddus, 2016; Ponomarov & Holcomb, 2009)
Resistencia	Fase que comprende el momento de la disrupción, buscando que el impacto generado sea mínimo (Badhotiya et al., 2022).
Mitigación	Fase en la que se busca eliminar la probabilidad o consecuencias de la disrupción (Sundarakani & Onyia, 2021).
Prevención	Fase que busca eliminar los factores de riesgo de las futuras posibles disrupciones (Kaeo-Tad et al., 2021).
Protección	Fase que busca asegurar los sistemas físicos y virtuales para minimizar los impactos de disrupciones (Kaeo-Tad et al., 2021).

Varias de estas conceptualizaciones se enfocan en el momento de la disrupción que se aplican, ya sea antes, durante o después (véase la Tabla 5). Bajo este enfoque, se destacan sobre las demás a las capacidades o fases de preparación, respuesta y recuperación.

Tabla 5

Agrupación de componentes de resiliencia por etapas

Antes de la disrupción	Durante la disrupción	Después de la disrupción
Capacidad proactiva	Capacidad reactiva	Capacidad restaurativa
Capacidad absorbente	Estrategias concurrentes	Recuperación
Preparación	Capacidad adaptativa	
Mitigación	Resistencia	
Prevención	Respuesta	
Protección		

3.3 Estrategias de resiliencia

Los autores revisados agrupan las estrategias bajo criterios como relacionadas a producción, rediseño de la CS o intervenciones de los Gobiernos (Moosavi et al., 2022); de corto o largo plazo (Belhadi et al., 2021); rapidez de implementación versus nivel de

costos (Ali et al., 2021); proactivas o reactivas (Belhadi et al., 2021; Tukamuhabwa et al., 2017); y según la fase de resiliencia en la que pueden ser aplicadas. Después de identificar las estrategias aplicables a las CS del sector *retail*, se propuso una clasificación bajo dieciséis macroestrategias (véase la Tabla 6).

Fortalecer y asegurar los recursos logísticos (FRL)

El fortalecimiento de instalaciones consiste en la protección de los establecimientos con refuerzos estructurales, equipamiento de emergencia, mantenimiento preventivo y monitoreo de condiciones (Salehi Sadghiani et al., 2015, como se citó en Alikhani et al., 2021). Puede aplicarse en centros de distribución, instalaciones de proveedores o tiendas para reducir la severidad de eventos, tales como desastres naturales (Alikhani et al., 2021; Dehghani et al., 2021; Gholami-Zanjani et al., 2021). Se resalta realizar mantenimiento periódico a las flotas y sistemas de transporte (Belhadi et al., 2021; Raj et al., 2022), así como mantener y actualizar los equipamientos, mejorar el *layout* de las instalaciones y mantener los espacios de almacenamiento organizados (Hsu et al., 2021). Asimismo, mejorar la seguridad permite proteger los recursos en la CS frente a ataques deliberados, robos, terrorismo o contrabando (Tukamuhabwa et al., 2017). Durante la pandemia han cobrado gran relevancia las medidas de seguridad con equipamientos de protección para asegurar la continuidad de las operaciones (Chowdhury et al., 2021; Viltard, 2020).

Impulsar la estandarización (EST)

Majumdar et al. (2021) y Braglia et al. (2022) consideran importante implementar estándares de protección de salud y seguridad en la CS para prevenir enfermedades o accidentes. La estandarización se presenta como una herramienta para lograr resiliencia, incluyendo el desarrollo y seguimiento de procedimientos operativos estándar, así como la estandarización de partes, procesos y sistemas de producción (Hsu et al., 2021; Michel-Villareal et al., 2021).

Mantener reservas y respaldos (MRR)

Otra estrategia muy empleada es contar con *stock* de seguridad de productos críticos y en locaciones estratégicas para mitigar el efecto de posibles disrupciones, lo que se conoce como mantener inventario preposicionado (Alikhani et al., 2021; Moosavi & Hosseini, 2021; Vimal et al., 2022). Realizar pedidos en grandes cantidades puede ayudar frente a la escasez de productos e incertidumbre en entregas, con menores frecuencias de pedidos y mayores lotes (Chowdhury et al., 2020). Expandir la capacidad o tener capacidades de reserva en puntos críticos permite estar preparado y responder ágil y flexiblemente (Alikhani et al., 2021; Belhadi et al., 2021; Lücker et al., 2018). Tukamuhabwa et al. (2017) y Katsaliaki et al. (2021) consideran contar con instalaciones, rutas y medios de transporte

alternativos que se utilicen durante emergencias. También se sugiere contar con proveedores de respaldo que sirvan de abasto cuando los principales sufran disrupciones y, a pesar de que, generalmente, operan con costos mayores, lo hacen en menor tiempo de entrega y mayor confiabilidad (Moosavi & Hosseini, 2021; Raj et al., 2022).

Diversificar la red de la cadena de suministro (DCS)

Se sugiere la diversificación del abastecimiento a partir del trabajo con múltiples y diversificados proveedores para los mismos productos y buscando alternativas más allá de la de menor costo (Paul et al., 2021a; Tukamuhabwa et al., 2017; Vimal et al., 2022). Enfocarse en la disponibilidad de producto en vez de la marca (Chowdhury et al., 2020) permite reducir vulnerabilidad al almacenar tipos similares de productos de diferentes proveedores. Chowdhury et al. (2021) y Ganguly y Kumar (2019) sugieren contar con múltiples instalaciones en ubicaciones dispersas. Diversificar el transporte con medios alternativos (como vehículos autónomos, drones, trenes o flotas subutilizadas de otras empresas) permite responder a interrupciones en las vías y llegar a lugares más difíciles (Ivanov, 2021; Raj et al., 2022). El transporte flexible y multimodal con varios medios, socios logísticos y rutas se considera una estrategia efectiva para asegurar las entregas (Kazemian et al., 2022; Majumdar et al., 2021).

Aumentar los canales de distribución (como el modelo *click-and-collect* en tiendas o puntos de recojo, o las entregas a domicilio) mejora la flexibilidad en el cumplimiento de pedidos (Michel-Villarreal et al., 2021; Zhang et al., 2021). Los modelos de *dark* y *grey stores* son cada vez más promovidos (Viltard, 2020). Otras formas de distribuir son la entrega directa en tienda o modelo bicanal, permitiendo el envío desde proveedores hacia puntos de venta o consumo sin pasar por CDs intermedios (Alikhani et al., 2021; Vali-Siar & Roghanian, 2022); y los transbordos laterales, enviando mercadería de una tienda o almacén a otra del mismo nivel (Dehghani et al., 2021; Viltard, 2020).

Para lograr estos flujos se recomienda la integración de inventarios entre establecimientos visualizando en un mismo sistema todos los inventarios y asignando flexiblemente almacenes a las tiendas o puntos de consumo (Gholami-Zanjani et al., 2021; Zhang et al., 2021), lo que también puede aplicarse al abastecimiento con proveedores (Alikhani et al., 2021). Tener redes adaptables, flexibles y reconfigurables permite gestionar mejor el impacto de riesgos (Paul et al., 2021b). Mantener reservas y múltiples maneras de abastecer o distribuir crea redundancia y con ello resiliencia (Alikhani et al., 2021; Katsaliaki et al., 2021).

Postergar actividades en la cadena de suministro (POS)

Otra estrategia que aumenta flexibilidad es la postergación ya sea de forma, posponiendo la diferenciación de productos a puntos finales dentro de la CS para adaptarlos

a los cambios en la demanda (Majumdar et al., 2021), o de inventarios (logística), manteniendo los productos en almacenes centralizados por el mayor tiempo posible evitando envíos innecesarios (Weskamp et al., 2019).

Acortar la cadena de suministro (ACS)

La alta distancia y cantidad de agentes en una CS puede significar mayores riesgos y dificultad para gestionarlos. Acortar las cadenas de suministro es otra estrategia propuesta (Chowdhury et al., 2021) que va de la mano con el abastecimiento local (*onshoring*), en el que se trabaja con proveedores de la zona; el *nearshoring*, de zonas cercanas; y el *reshoring*, donde se retornan al país procesos como el abastecimiento que antes estaban fuera (Moosavi et al., 2022; Paul et al., 2021a; Van Hoek & Dobrzykowski, 2021).

Fomentar la colaboración con socios de la cadena de suministro (FCS)

Autores como Paul et al. (2021a), Belhadi et al. (2021) y Spieske et al. (2022) resaltan la colaboración con los socios de la CS, trabajando juntos por beneficios comunes, apoyándose y construyendo confianza. Mantener interacciones y comunicación continua con ellos, así como sincronizar las decisiones y su toma en conjunto, permite mejorar la transparencia y cooperación (Chowdhury et al., 2020; Katsaliaki et al., 2021; Paul et al., 2021a).

El intercambio de información con socios debe ir acompañado de la capacidad de absorción de las empresas para interiorizar el conocimiento externo y facilitar el rápido acceso a los recursos necesarios al desarrollar el capital social y las competencias relacionales (Gölgeci & Kuivalainen, 2020; Tukamuhabwa et al., 2017). Compartir información permite realizar pronósticos colaborativos (Michel-Villarreal et al., 2021), así como la aplicación de modelos de inventarios gestionados por el proveedor donde este conozca los niveles de inventario y demanda del *retailer* para mantener un correcto abastecimiento (Katsaliaki et al., 2021; Lotfi et al., 2022). Otra forma de colaborar es promover la flexibilidad en el abastecimiento, distribución y contratos para asegurar el suministro durante disrupciones (Vanany et al., 2021).

También se sugiere desarrollar nuevas asociaciones dentro de la CS (Chowdhury et al., 2021) y formar alianzas estratégicas con operadores logísticos (3PL) (Raj et al., 2022) que tercericen operaciones de transporte o almacenamiento. Para mejorar la eficiencia, compromiso y confiabilidad de los proveedores, Tukamuhabwa et al. (2017) sugiere fomentar su desarrollo incentivándolos financieramente y con entrenamiento para mejorar sus habilidades y conocimientos. Un sistema de incentivos con proveedores (Hsu et al., 2021), así como un ratio mutuo y flexible de efectivo y crédito (Chowdhury et al., 2020), permiten hacer frente al limitado servicio de crédito. También se puede compartir los riesgos y beneficios con los socios en decisiones en las que se vean involucrados (Majumdar et al., 2021).

Fomentar la colaboración externa (FCE)

Nguyen et al. (2022) afirman que la colaboración externa con clientes, bancos o inversores genera un impacto positivo en las finanzas de la CS, lo que permite un mejor soporte ante disrupciones. Recurrir a apoyo financiero y de recursos por el Gobierno (Paul et al., 2021a; Braglia et al., 2022), así como enlistar a las ONG y Gobiernos en esquemas de soporte y subsidios (Chowdhury et al., 2021), puede ayudar frente a desafíos como la escasez de recursos físicos y financieros o la recesión económica. Otras estrategias son recurrir a financiación con empresas de inversión (Sundarakani & Onyia, 2021; Zhang et al., 2021) y formar asociaciones público-privadas para compartir recursos, riesgos y beneficios bajo objetivos comunes (Tukamuhabwa et al., 2017). Asimismo, colaborar con otras CS, compartiendo información y recursos, puede reducir la vulnerabilidad de ambas (Ivanov, 2021; Tukamuhabwa et al., 2017). Alikhani et al. (2021) aplican el intercambio de inventario entre dos CS cuando una tiene exceso de *stock* y la otra está en quiebre. La colaboración horizontal (Chowdhury et al., 2021) consiste en trabajar junto con otras empresas del sector, mientras que la coopetición (Tukamuhabwa et al., 2017) se refiere a la colaboración entre competidores que comparten recursos para objetivos comunes. Se sugiere también formar alianzas estratégicas temporales entre dos empresas (*joint ventures*) (Zhang et al., 2021) y recurrir a expertos externos para la mejora y gestión de disrupciones (Hsu et al., 2021).

Impulsar la transformación digital (ITD)

El uso de tecnologías de información y comunicación se considera beneficioso para conseguir resiliencia al agilizar la toma de decisiones, diseño y manufactura de productos, así como la predicción y monitoreo de los riesgos (Katsaliaki et al., 2021; Paul et al., 2021b). La digitalización de operaciones permite atender gran cantidad de pedidos con sistemas dinámicos de información (Sharma et al., 2021). Tecnologías digitales, como sensores e identificadores por radiofrecuencia (RFID), se han vuelto cada vez más accesibles y necesarias, según Katsaliaki et al. (2021), al igual que la implementación de tecnologías de la industria 4.0, como el internet de las cosas, *blockchain*, gemelo digital, impresión 3D e inteligencia artificial (Paul et al., 2021a; Belhadi et al., 2021). Estas ayudan a aumentar la exactitud, trazabilidad, flexibilidad y transparencia (Belhadi et al., 2021; Katsaliaki et al., 2021).

La analítica de datos *big data* permite recoger y procesar gran cantidad de información en tiempo real (Belhadi et al., 2021). Las técnicas de simulación y optimización apoyadas de modernos *softwares* permiten lidiar con la incertidumbre y complejidad en la toma de decisiones (Belhadi et al., 2021; Raj et al., 2022). Asimismo, los *softwares* de reconfiguración de la CS en tiempo real permiten cambiar los flujos frente a problemas en los distintos nodos (Katsaliaki et al., 2021). La automatización de la CS permite sistematizar los flujos

físicos y de información con tecnologías que reduzcan la dependencia humana (Belhadi et al., 2021). Se recomienda también el uso de canales digitales como venta *online* y *marketplaces* virtuales (Belhadi et al., 2021; Chowdhury et al., 2021).

Fomentar una cultura de gestión integrada de riesgos (CGR)

Se sugiere fomentar una cultura de gestión de riesgos, donde todos los miembros de la organización se involucren y comprometan con identificar los riesgos y apoyar en su gestión (Ozdemir et al., 2022; Tukamuhabwa et al., 2017). Esto implica la identificación, análisis y planificación de respuestas frente a riesgos existentes a lo largo de la CS, considerando todos los actores y no solo los directos (Belhadi et al., 2021). El desarrollo de planes de contingencia permite anticiparse a los riesgos al especificar medidas cuando se materialicen (Tukamuhabwa et al., 2017). Además, el diseño e implementación de planes de continuidad del negocio busca asegurar el funcionamiento de las operaciones durante una disrupción (Kazemian et al., 2022); también se recomienda la formación de un departamento o equipo dedicado a la gestión de riesgos (Paul et al., 2021b; Vanany et al., 2021).

Mapear las redes de la CS mejora su visibilidad al manejar información en tiempo real de las condiciones y flujos (Chowdhury et al., 2021; Ganguly & Kumar, 2019). Se recomienda monitorear los riesgos en sitio compartiendo responsabilidades (Hsu et al., 2021), contar con indicadores tempranos de peligro (Michel-Villareal et al., 2021) y comunicar adecuadamente los riesgos identificados (Tukamuhabwa et al., 2017). También se sugiere la apropiada selección de proveedores tras aplicar criterios que permitan evaluar el riesgo asociado a cada uno de ellos, así como el uso de medios de transferencia de riesgos como seguros y contratos (Majumdar et al., 2021; Tukamuhabwa et al., 2017).

Impulsar la capacidad y flexibilidad del capital humano (ICH)

Se resalta el entrenamiento y desarrollo de empleados, mejorando su conocimiento en las estructuras físicas y de la información dentro de la CS, así como el aprendizaje de los cambios (Tukamuhabwa et al., 2017). Una adecuada gestión de los recursos humanos es fundamental para que la CS aumente su adaptabilidad para generar una óptima construcción de resiliencia (Das et al., 2021). En línea con ello, se recomienda fomentar la comunicación no jerárquica (Hsu et al, 2021), la fuerza de trabajo multiespecializada (Katsaliaki et al., 2021) y la reasignación del personal a las operaciones y áreas más críticas durante emergencias (Butt, 2021).

Mejorar la responsabilidad social corporativa (RSC)

La responsabilidad social corporativa se considera necesaria debido a la interconexión con los ecosistemas y comunidades en la toma de decisiones (Belhadi et al., 2021). Se

recomienda impulsar un enfoque social y humanitario en toda la CS (Belhadi et al., 2021) y fomentar su sostenibilidad (Sharma et al., 2020). Adoptar prácticas verdes en las operaciones (Majumdar et al., 2021) y el cumplimiento de la sostenibilidad al atender los requerimientos económicos, sociales y ambientales ayuda a mitigar los riesgos asociados (Tukamuhabwa et al., 2017). Paul et al. (2021b) resaltan que las empresas deben valorar la sostenibilidad y no solo buscar cumplir con las leyes.

Innovar en la estrategia de negocio (IEN)

La adición de valor innovativo puede ayudar a desarrollar nuevos modelos de negocios y adaptarse al cambio (Hossain et al., 2022; Ozdemir et al., 2022). Diversificar el portafolio de productos y servicios ayuda a afrontar los cambios de demanda y reducir la dependencia de pocos productos y proveedores (Braglia et al., 2022; Tukamuhabwa et al., 2017). La diversificación del negocio (Ali et al., 2022), la compra de empresas (Zhang et al., 2021) y el cambio del propósito de los sistemas productivos y las redes de abastecimiento (Ivanov, 2021) son también recomendados.

Mejorar la experiencia del cliente (EXC)

Sharma et al. (2021) sugieren la gestión de relaciones de clientes (CRM), al gestionar las interacciones con clientes existentes y potenciales, a fin de mantener la confianza. Proporcionar visibilidad de extremo a extremo, y en tiempo real, a las compras de los clientes, ayuda también a mejorar la confianza y la cooperación (Raj et al., 2022). Se resalta la colaboración con clientes promocionando la lealtad a la marca a través de campañas comerciales (Raj et al., 2022) y a la omnicanalidad como la integración de todos los canales de compra y comunicación con el cliente ofreciendo una experiencia unificada, consistente, flexible, transparente y no dependiente del canal utilizado (Sharma et al., 2021; Trabucco & De Giovanni, 2021; Zhang et al., 2021). Se recomienda enfocarse en mejorar el servicio a los clientes (Tukamuhabwa et al., 2017), recogiendo y haciendo seguimiento del *feedback* (Hsu et al., 2021).

Gestionar estratégicamente los surtidos y precios (GSP)

Algunos autores incluyen estrategias que buscan influenciar el comportamiento de compra de los consumidores, como el *revenue management*. Este establece precios dinámicos y diferenciados bajo criterios como volúmenes de orden y tiempos de entrega (Mishra et al., 2021, como se cita en Raj et al., 2022). El planeamiento del surtido (Tukamuhabwa et al., 2017) o la optimización de la mezcla de productos (Raj et al., 2022) modifican la presencia, cantidades y ubicación de los productos en los puntos de venta. Ante una disrupción que demore o imposibilite el abastecimiento de un producto, se sugiere la simplificación del surtido (Viltard, 2020) y la sustitución de productos (Bret et

al., 2021). Al sustituir productos de manera progresiva y poco notoria en las góndolas, se trata de una transferencia de productos silenciosa (Tukamuhabwa et al., 2017)

Sincronizar los procesos estratégicos (SPE)

Sharma et al. (2020) recomiendan sincronizar los procesos estratégicos desarrollando flujos de trabajo inteligentes que los integren y mecanicen para mejorar la eficiencia en toda la cadena. Alinear procesos como la gestión comercial y la gestión de la CS permite responder mejor a disrupciones (Gölgeci & Kuivalainen, 2020). Los pronósticos de demanda adecuados y confiables, así como el control estratégico de inventarios en toda la CS con base en estos pronósticos, se sugieren por Sharma et al. (2021) y Vanany et al. (2021). Por último, se recomienda también la integración entre áreas de la compañía y la conformación de equipos crossfuncionales (o interfuncionales) con miembros de diferentes perfiles y áreas para afrontar las disrupciones (Hsu et al., 2021; Vanany et al., 2021) (véase la Tabla 6).

Tabla 6

Macroestrategias planteadas

Macroestrategias	Definición
Fortalecer y asegurar los recursos logísticos (FRL)	Invertir en la mejora, mantenimiento y aseguramiento de los distintos recursos físicos logísticos:
	- Fortificación de instalaciones
	- Mantenimiento periódico a flotas y equipos
	- Mejora del *layout* y organización del espacio en las instalaciones
	- Construcción de seguridad
	- Implementación de infraestructura y equipos de seguridad y sanidad en establecimientos
Impulsar la estandarización (EST)	Fomentar el desarrollo, seguimiento y cumplimiento de lo siguiente:
	- Procedimientos operativos estándar
	- Estándares y protocolos de protección de salud y seguridad
Mantener reservas y respaldos (MRR)	Establecer y utilizar reservas y respaldos de recursos para asegurar el flujo en una disrupción por lo siguiente:
	- Preposicionar inventario extra o de reserva de manera estratégica
	- Realizar compras en grandes cantidades
	- Tener capacidad extra o de reserva
	- Tener proveedores, instalaciones, rutas, medios de transporte y sistemas de información de respaldo

(*continúa*)

(*continuación*)

Macroestrategias	Definición
Diversificar la red de la cadena de suministro (DCS)	Tener múltiples, diversos y flexibles modos de abastecerse, transportar la mercadería y distribuirla:
	- Múltiples y diversificados proveedores, instalaciones, medios y rutas de transporte, y canales de distribución
	- Transporte multimodal y flexible
	- Formatos de *dark stores* y *grey stores*
	- Permisos de entregas directas a tiendas y transbordos laterales
	- Integración de inventarios entre establecimientos y asignación flexible
Postergar actividades en la cadena de suministro (POS)	Aplazar actividades para etapas finales de la CS con el fin de responder mejor a los cambios:
	- Postergación de forma
	- Postergación logística
Acortar la cadena de suministro (ACS)	Reducir la longitud y actores dentro de la CS:
	- *Onshoring* (contar con proveedores locales y desarrollarlos)
	- *Nearshoring*
	- *Reshoring*
	- Colaboración con socios locales
Fomentar la colaboración con socios de la cadena de suministro (FCS)	Promover la confianza, buenas relaciones, colaboración y cooperación con todos los socios de la CS:
	- Interacción y comunicación continua
	- Toma de decisiones en conjunto
	- Intercambio y compartición de información
	- Pronósticos colaborativos de ventas e inventarios gestionados por proveedor
	- Uso de sistema de gestión de relaciones con proveedores (SRM)
	- Compartición de recursos
	- Contar con contratos flexibles
	- Desarrollo de nuevas asociaciones
	- Formación de alianzas estratégicas con socios
	- Fomento del desarrollo de los socios
	- Sistema de incentivos y ratio mutuo de efectivo-crédito
	- Compartir riesgos y beneficios

(*continúa*)

(*continuación*)

Macroestrategias	Definición
Fomentar la colaboración externa (FCE)	Buscar apoyo y colaborar con agentes externos a la CS:
	- Búsqueda de apoyo financiero y de recursos del Gobierno
	- Formación de asociaciones público-privadas
	- Sistema de soporte y subsidios con los Gobiernos y ONG
	- Financiación con empresas/fondos de inversión
	- Información y recursos compartidos con otras CS
	- Fomento de la colaboración horizontal
	- Alianzas de *joint venture*
	- Coopetición
	- Consulta a expertos externos
Impulsar la transformación digital (ITD)	Implementar nuevas tecnologías que permitan procesos más ágiles, precisos, seguros y con mayor visibilidad:
	- Tecnologías de información y comunicación
	- Tecnologías de la industria 4.0
	- *Data analytics* y *big data*
	- *Softwares* de optimización, simulación y reconfiguración de la CS en tiempo real
	- Digitalización de los canales de venta
	- Automatización de operaciones
	- Uso de sistemas WMS, TMS y OMS
Fomentar una cultura de gestión integrada de riesgos (CGR)	Desarrollar y fomentar una cultura organizacional con los socios donde se busque identificar y gestionar los riesgos existentes:
	- Gestión integrada de riesgos en toda la CS
	- Desarrollo y seguimiento de planes de contingencia y continuidad del negocio
	- Formación de departamento o equipo dedicado a gestión de riesgos
	- Aumento de la visibilidad en la CS monitoreando los riesgos en tiempo real
	- Indicadores tempranos de peligro
	- Comunicación a tiempo y efectiva de los riesgos
	- Selección y evaluación apropiada de socios actuales y potenciales
	- Transferencia de riesgos mediante seguros
Impulsar la capacidad y flexibilidad del capital humano (ICH)	Fomentar el desarrollo de los trabajadores y su adaptabilidad:
	- Entrenamiento constante dentro y fuera del área en habilidades duras y blandas
	- Desarrollo del conocimiento de las estructuras físicas y de información de la CS
	- Desarrollo de la fuerza de trabajo multiespecializada y adaptable al cambio
	- Fomento de la comunicación no jerárquica
	- Reasignación de personal a operaciones más críticas

(*continúa*)

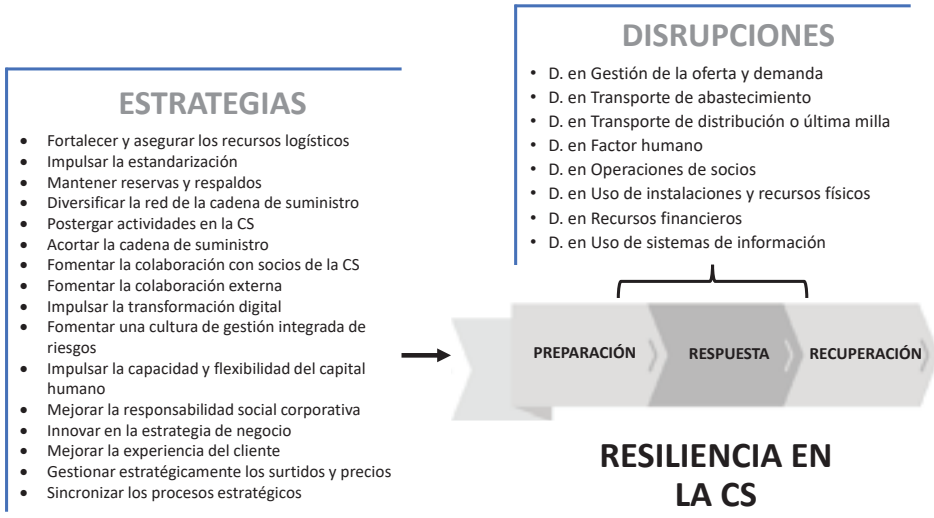
(*continuación*)

Macroestrategias	Definición
Mejorar la responsabilidad social corporativa (RSC)	Fomentar la preocupación y la toma de acciones con respecto a los impactos y el entorno medioambiental y social de la CS:
	- Enfoque social y humanitario
	- Desarrollo y valoración de la sostenibilidad
	- Adopción y promoción de las prácticas ecoamigables
	- Cumplimiento con todos los requisitos sociales y ambientales
	- Planteamiento y seguimiento de objetivos sociales y ambientales
Innovar en la estrategia de negocio (IEN)	Fomentar la innovación constante y la adición de valor innovativo para ampliar o cambiar los modelos de negocio:
	- Diversificación del portafolio de productos y servicios ofrecidos
	- Compra estratégica de empresas e integración vertical
	- Diversificación del negocio entrando a nuevos mercados
	- Cambio del propósito de las redes de abastecimiento frente a emergencias
Mejorar la experiencia del cliente (MEC)	Realizar esfuerzos por asegurar una buena experiencia de los clientes en los procesos de compra:
	- Enfocar y sistematizar la gestión de relaciones con clientes (SRM)
	- Proporcionar visibilidad de extremo a extremo en tiempo real
	- Promocionar la lealtad a la marca a través de campañas comerciales
	- Ofrecer una experiencia omnicanal de compra
	- Esforzarse por mejorar el servicio al cliente con capacitación a personal y socios
Gestionar estratégicamente los surtidos y precios (GSP)	Se busca influenciar el comportamiento y las decisiones de compra de los clientes con lo siguiente:
	- Contar con precios dinámicos y diferenciados, aplicando el ***revenue management***
	- Planear y optimizar el surtido de productos y la distribución en góndolas o tiendas digitales
	- Simplificar el surtido o sustituir productos según la disponibilidad y criticidad
Sincronizar los procesos estratégicos (SPE)	Consiste en la integración y sincronización de los procesos clave dentro de la empresa con flujos de trabajo inteligentes:
	- Alinear la gestión *marketing*-comercial y la gestión de la CS, procesos S&OP
	- Utilizar sistemas integrados como ERP
	- Desarrollar adecuados pronósticos de demanda y control de inventarios
	- Formar equipos crossfuncionales entre áreas

Por todo lo anterior se elaboró un gráfico de resumen con las estrategias, disrupciones y fases de resiliencia que son parte del modelo conceptual planteado (véase la Figura 6).

Figura 6

Modelo de estrategias-fases-disrupciones



4. DISCUSIÓN

La revisión de literatura permitió recoger una extensa lista de estrategias para mejorar la resiliencia dentro de las cadenas de suministro. Muchas de estas no estaban desarrolladas en la literatura de manera exclusiva para el sector *retail*, pero se consideró que las seleccionadas podían aplicarse a dicho sector luego de un análisis propio y consulta con diferentes expertos del *retail* peruano sobre su aplicabilidad y relevancia.

Analizar las disrupciones en la literatura permitió conocer a fondo los problemas de las diversas cadenas de suministro frente a eventos negativos usualmente inesperados. También se encontraron diferencias entre la definición y clasificación de las disrupciones; además, su campo de estudio se ha visto ampliado con el efecto de la pandemia del COVID-19. Por todo ello, las ocho disrupciones encontradas se consideran relevantes en el *retail* peruano, según la opinión de los expertos consultados, y se resaltan las de gestión de la oferta y demanda, del transporte y del uso de instalaciones y recursos físicos. Asimismo, se evidencia que estas disrupciones no tienen el mismo peso frente a los casos específicos de cada investigación, por lo que no se podrían determinar cuáles son las más influyentes sin un análisis de impacto versus riesgo, según el contexto de la empresa, socios y ambiente.

Con respecto a la definición de resiliencia y sus componentes, existe una amplia diversidad de clasificaciones que enriquecen el conocimiento, pero que podrían llegar a generar confusión para externos a dichas terminologías. Por ello, se buscó simplificar la clasificación en las etapas antes, durante y después de la disrupción bajo las fases de preparación, respuesta y recuperación. Por otro lado, también compartido con los expertos, no todas las estrategias se podrían aplicar en las tres etapas, ya sea por su propia naturaleza, el contexto de la empresa o la rapidez y magnitud de la disrupción. Las investigaciones revisadas tampoco coincidieron en qué estrategias eran las más útiles; sin embargo, resaltan la transformación digital y aplicación de nuevas tecnologías, la cual coincide con la opinión de los expertos consultados, quienes la consideran más relevante para el sector, seguida de la colaboración con socios y la sincronización de procesos estratégicos. Asimismo, las macroestrategias no deben ser tratadas como acciones aisladas, ya que, como resaltan Tukamuhabwa et al. (2017) y Namdar et al. (2022), estas estrategias pueden reforzar o contradecir otras.

Si bien la "estandarización" tuvo poco desarrollo en la literatura, al obtener una baja relación con las capacidades de resiliencia y riesgos de la CS en los resultados de Hsu et al. (2021), esta se incluyó dentro de las macroestrategias, pues se considera que contar con procesos estructurados y estandarizados que perduren frente a cambios del factor humano, socios y sistemas podría tener efectos positivos según el contexto de la empresa. Mantener reservas y respaldos es una estrategia que debe ser aplicada con el debido análisis previo, ya que, como concluyen Moosavi & Hosseini (2021), mantener inventarios preposicionados puede representar un gasto muy alto que no compensa la resiliencia obtenida, en especial cuando los riesgos de disrupciones son bajos. Esto puede ocurrir con las demás estrategias, porque la mayoría implica una inversión de recursos para obtener una mayor resiliencia que no puede garantizarse al completo.

Se identificó que la "postergación de forma" es más aplicable a las operaciones de los fabricantes que a las de los *retails* (a excepción de casos como el mezclado final de pinturas en tiendas), por lo que, en una CS que incluya a ambos, se debe trabajar en conjunto para lograr flexibilidad con los cambios en la demanda. Para la postergación logística, se debería analizar antes si conviene tener mayores inventarios en las tiendas o concentrarse en pocos almacenes centralizados. Acortar la cadena de suministro, por otro lado, se considera que facilita una reacción más rápida frente a cambios en la oferta y demanda que, además, como concuerdan expertos, permite reducir los *stocks* de seguridad. La colaboración externa se considera muy útil frente a disrupciones, pero, al igual que otras, depende del contexto en el que se aplique. Para el *retail* peruano, el apoyo del Gobierno tuvo gran relevancia durante la pandemia; sin embargo, como comentan expertos, una cooperación entre competidores sería difícil de aplicar.

Impulsar las capacidades y flexibilidad del capital humano es una estrategia que resaltan varios autores en aquellas disrupciones en las que los trabajadores deben

cambiar sus funciones a lo más urgente o necesario, lo cual fomenta su desarrollo profesional. Además, se ha identificado que hay estrategias que pueden tener un efecto positivo indirecto para las empresas, como el mantener una buena responsabilidad social corporativa, lo que podría facilitar el acceso a financiamiento externo. Por otro lado, al aplicar la gestión estratégica de surtidos y precios, se debería buscar satisfacer, en lo posible, las necesidades de los clientes, adaptándose a los cambios del abastecimiento, pero con la mira en el consumidor final.

Finalmente, el uso de torres de control logísticas dentro la gestión integrada de riesgos y el desarrollo de procesos S&OP dentro de la sincronización de procesos estratégicos fueron aplicaciones no encontradas en la revisión de literatura; sin embargo, los expertos del sector las recomendaron y sugirieron que deben ser más desarrolladas en futuras investigaciones. Como señala Kazemian et al. (2022), es casi imposible que una empresa o CS adopte todas las estrategias existentes, debido a las limitaciones de recursos y a las peculiaridades de cada cadena. La identificación y conceptualización desarrollada en esta investigación busca aportar en la forma de una base teórica que permita comparar y priorizar las estrategias a aplicar.

5. CONCLUSIONES

Se realizó una extensa revisión de literatura con cincuentaiún artículos académicos de diferentes sectores, geografías y realidades que permitió rescatar la información más relevante. Se lograron identificar las ocho principales disrupciones que sufren las cadenas de suministro; las distintas dimensiones de resiliencia, que fueron compactadas en tres fases; y las estrategias de resiliencia aplicables al sector *retail*, que fueron agrupadas en dieciséis macroestrategias. Asimismo, se logró validar y valorar las estrategias mediante comparación de fuentes, opinión de expertos del sector y el análisis propio. Sin embargo, al no realizar un análisis cuantitativo bajo indicadores, se concluye que es necesario contemplar las estrategias planteadas, pero entendiendo el contexto de la empresa en que se aplicará y el seguimiento de indicadores de efectividad y costos.

Futuras investigaciones podrían medir la efectividad de los resultados de la investigación mediante el análisis de casos reales. Con esta investigación se busca fomentar más estudios que amplíen los conocimientos en el país y beneficien a empresarios, emprendedores e investigadores. Por otro lado, se espera promover más estudios que se adentren en los mercados latinoamericanos al ser una oportunidad para enriquecer la literatura, ya que de dicho contexto se encontró muy poca disponible. Tras la pandemia, el crecimiento de la producción intelectual fue excepcional, las innovaciones dentro de las CS son cada vez más constantes y las disrupciones nunca dejarán de presentarse.

6. REFERENCIAS

Ali, I., Arslan, A., Chowdhury, M., Khan, Z., & Tarba, S. Y. (2022). Reimagining global food value chains through effective resilience to COVID-19 shocks and similar future events: A dynamic capability perspective. *Journal of Business Research*, *141*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.006

Ali, M. H., Suleiman, N., Khalid, N., Tan, K. H., Tseng, M. L., & Kumar, M. (2021). Supply chain resilience reactive strategies for food SMEs in coping to COVID-19 crisis. *Trends in Food Science & Technology*, *109*, 94-102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.021

Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2021). Retail supply chain network design with concurrent resilience capabilities. *International Journal of Production Economics, 234*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108042

Aloui, A., Hamani, N., & Delahoche, L. (2021). Designing a resilient and sustainable logistics network under epidemic disruptions and demand uncertainty. *Sustainability*, *13*(24), 14053. https://doi.org/10.3390/su132414053

Badhotiya, G. K., Soni, G., Jain, V., Joshi, R., & Mittal, S. (2022). Assessing supply chain resilience to the outbreak of COVID-19 in Indian manufacturing firms. *Operations Management Research*, *15*, 1161-1180. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00236-6

Belhadi, A., Kamble, S., Jabbour, C. J. C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N. O., & Venkatesh, M. (2021). Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: lessons learned from the automobile and airline industries. *Technological Forecasting and Social Change*, *163*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120447

Braglia, M., Marrazzini, L., & Padellini, L. (2022). The impact of COVID-19 on the Italian footwear supply chain of small and medium-sized enterprises (SMEs) - Evaluation of two case studies. *Designs*, *6*(2). https://doi.org/10.3390/designs6020023

Bret, L., Dussud, M., Metral, L., Ladier, A. L., & Trilling, L. (2021). Towards a model assessing supply chain resilience strategies. *Procedia CIRP*, *103*, 14-19. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.10.001

Butt, A. S. (2021). Building resilience in retail supply chains: lessons learned from COVID-19 and future pathways. *Benchmarking: An International Journal*, *29*(10), 3057-3078. https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2021-0514

Chowdhury, M., & Quaddus, M. (2016). Supply chain readiness, response and recovery for resilience. *Supply Chain Management*, *21*(6), 709-731. https://doi.org/10.1108/SCM-12-2015-0463

Chowdhury, M., Sarkar, A., Saha, P. K., & Anik, R. H. (2020). Enhancing supply resilience in the COVID-19 pandemic: a case study on beauty and personal care retailers. *Modern Supply Chain Research and Applications*, *2*(3), 143-159. https://doi.org/10.1108/MSCRA-07-2020-0018

Chowdhury, P., Paul, S. K., Kaisar, S., & Moktadir, M. A. (2021). COVID-19 pandemic related supply chain studies: a systematic review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *148*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271

Das, D., Datta, A., Kumar, P., Kazancoglu, Y., & Ram, M. (2021). Building supply chain resilience in the era of COVID-19: an AHP-DEMATEL approach. *Operations Management Research*, *15*, 249-267. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00200-4

Datta, P., Christopher, M., & Allen, P. (2007). Agent-based modelling of complex production/distribution systems to improve resilience. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *10*(3), 187-203. https://doi.org/10.1080/13675560701467144

Dehghani, M. H. S., Ghousi, R., & Makui, A. (2021). Designing a disruption-aware supply chain network considering precautionary and contingency strategies: a real-life case study. *RAIRO-Operations Research*, *55*(5), 2827-2860. https://doi.org/10.1051/ro/2021123

Elleuch, H., Dafaoui, E., Elmhamedi, A., & Chabchoub, H. (2016). Resilience and vulnerability in supply chain: literature review. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(12), 1448-1453. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.775

Ganguly, A., & Kumar, C. (2019). Evaluating supply chain resiliency strategies in the Indian pharmaceutical sector: a fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) approach. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 11*(2), 153-180. https://doi.org/10.13033/ijahp.v11i2.620

Gholami-Zanjani, S. M., Klibi, W., Jabalameli, M. S., & Pishvaee, M. S. (2021). The design of resilient food supply chain networks prone to epidemic disruptions. *International Journal of Production Economics*, *233*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.108001

Gölgeci, I., & Kuivalainen, O. (2020). Does social capital matter for supply chain resilience? The role of absorptive capacity and marketing-supply chain management alignment. *Industrial Marketing Management*, *84*, 63-74. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.05.006

Hossain, M. R., Akhter, F., & Sultana, M. M. (2022). SMEs in COVID-19 crisis and combating strategies: a systematic literature review (SLR) and a case from emerging economy. *Operations Research Perspectives*, *9*. https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100222

Hsu, C. H., Chang, A. Y., Zhang, T. Y., Lin, W. D., & Liu, W. L. (2021). Deploying resilience enablers to mitigate risks in sustainable fashion supply chains. *Sustainability*, *13*(5). https://doi.org/10.3390/su13052943

Instituto de Investigación de Capgemini. (2020). *Fast forward – Rethinking supply chain resilience for a post-COVID-19 world*. https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2020/11/Fast-forward_Report.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Producto bruto interno según actividad económica (nivel 9), 1994-2019 - Valores a precios corrientes (estructura porcentual)*. https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Producción nacional*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-produccion-nacional-dic-2020.pdf

Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: a conceptual and formal generalization of four major adaptation strategies. *International Journal of Production Research*, *59*(12), 3535-3552. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1890852

Kaeo-Tad, N., Jeenanunta, C., Chumnumporn, K., Nitisahakul, T., & Sanprasert, V. (2021). Resilient manufacturing: case studies in Thai automotive industries during the COVID-19 pandemic. *Engineering Management in Production and Services*, *13*(3), 99-113. https://doi.org/10.2478/emj-2021-0024

Katsaliaki, K., Galetsi, P., & Kumar, S. (2021). Supply chain disruptions and resilience: a major review and future research agenda. *Annals of Operations Research*, *319*, 965-1002. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03912-1

Kazemian, I., Torabi, S. A., Zobel, C. W., Li, Y., & Baghersad, M. (2022). A multi-attribute supply chain network resilience assessment framework based on SNA-inspired indicators. *Operational Research*, *22*, 1853-1883. https://doi.org/10.1007/s12351-021-00644-3

Lotfi, R., Kargar, B., Rajabzadeh, M., Hesabi, F., & Özceylan, E. (2022). Hybrid fuzzy and data-driven robust optimization for resilience and sustainable health care supply chain with vendor-managed inventory approach. *International Journal of Fuzzy Systems*, *24*(2), 1216-1231. https://doi.org/10.1007/s40815-021-01209-4

Lücker, F., Seifert, R. W., & Biçer, I. (2018). Roles of inventory and reserve capacity in mitigating supply chain disruption risk. *International Journal of Production Research*, *57*(4), 1238-1249. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1504173

Majumdar, A., Sinha, S. K., & Govindan, K. (2021). Prioritising risk mitigation strategies for environmentally sustainable clothing supply chains: Insights from selected

organisational theories. *Sustainable production and consumption*, *28*, 543-555. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.021

Michel-Villarreal, R., Vilalta-Perdomo, E. L., Canavari, M., & Hingley, M. (2021). Resilience and digitalization in short food supply chains: a case study approach. *Sustainability, 13*(11). https://doi.org/10.3390/su13115913

Moosavi, J., & Hosseini, S. (2021). Simulation-based assessment of supply chain resilience with consideration of recovery strategies in the COVID-19 pandemic context. *Computers & Industrial Engineering*, *160*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107593

Moosavi, J., Fathollahi-Fard, A. M., & Dulebenets, M. A. (2022). Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: recognizing potential disruption management strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *75*(1). https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102983

Namdar, J., Blackhurst, J., & Azadegan, A. (2022). On synergistic effects of resilience strategies: developing a layered defense approach. *International Journal of Production Research*, *60*(2), 661-685. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2013561

Nguyen, D. N., Nguyen, T. T. H., Nguyen, T. T., Nguyen, X. H., Do, T., & Ngo, H. (2022). The effect of supply chain finance on supply chain risk, supply chain risk resilience, and performance of Vietnam SMEs in global supply chain. *Uncertain Supply Chain Management*, *10*(1), 225-238. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.9.005

Ozdemir, D., Sharma, M., Dhir, A., & Daim, T. (2022). Supply chain resilience during the COVID-19 pandemic. *Technology in Society*, *68*. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101847

Paul, S. K., Chowdhury, P., Moktadir, M. A., & Lau, K. H. (2021a). Supply chain recovery challenges in the wake of COVID-19 pandemic. *Journal of Business Research*, *136*, 316-329. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.07.056

Paul, S. K., Moktadir, M. A., & Ahsan, K. (2021b). Key supply chain strategies for the post-COVID-19 era: implications for resilience and sustainability. *The International Journal of Logistics Management*, *34*(4), 1165-1187. https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2021-0238

Perú Retail. (2023, 24 de agosto). ¿Qué es retail*? Conoce su definición, características y ejemplos*. https://www.peru-retail.com/que-es-retail/

Ponomarov, S., & Holcomb, M. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management, 20*(1), 124-143. https://doi.org/10.1108/09574090910954873

Raj, A., Mukherjee, A. A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Srivastava, S. K. (2022). Supply chain management during and post-COVID-19 pandemic: mitigation strategies and practical lessons learned. *Journal of Business Research*, *142*, 1125-1139. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.037

Sambowo, A. L., & Hidayatno, A. (2021). Resilience index development for the manufacturing industry based on robustness, resourcefulness, redundancy, and rapidity. *International Journal of Technology*, *12*(6), 1177-1186. https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i6.5229

Schiele, H., Hoffmann, P., & Koerber, T. (2021). Synchronicity management: mitigating supply chain risks by systematically taking demand changes as starting point - A lesson from the COVID-19 crisis. *IEEE Engineering Management Review*, *49*(1), 55-62. https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3040016

Scholten, K., Scott, P. S., & Fynes, B. (2014). Mitigation processes-antecedents for building supply chain resilience. *Supply Chain Management*, *19*(2), 221-228. https://doi.org/10.1108/SCM-06-2013-0191

Scopus. (2023). *Analyze search results*. Recuperado el 10 de diciembre del 2023, de https://www-scopus-com.ezproxy.ulima.edu.pe/term/analyzer.uri?sid=4f2ca280842e7ad248e1f291e8f871ba&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28resilience+%22supply+chain%22%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=40&count=2448&analyzeResults=Analyze+results&txGid=a053c575f749420409a86a75e9ff5040

Sharma, A., Adhikary, A., & Borah, S. B. (2020). Covid-19's impact on supply chain decisions: strategic insights from NASDAQ 100 firms using Twitter data. *Journal of Business Research*, *117*, 443-449. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.035

Sharma, M., Luthra, S., Joshi, S., & Kumar, A. (2021). Accelerating retail supply chain performance against pandemic disruption: adopting resilient strategies to mitigate the long-term effects. *Journal of Enterprise Information Management*, *34*(6), 1844-1873. https://doi.org/10.1108/JEIM-07-2020-0286

Shen, Z. M., & Sun, Y. (2021). Strengthening supply chain resilience during COVID-19: a case study of JD.com. *Journal of Operations Management*, *69*(3), 359-383. https://doi.org/10.1002/joom.1161

Sherman, E. (2020, 21 de febrero). 94 % of the Fortune 1000 are seeing coronavirus supply chain disruptions: report. *Fortune*. https://fortune.com/2020/02/21/fortune-1000-coronavirus-china-supply-chain-impact/

Spieske, A., Gebhardt, M., Kopyto, M., & Birkel, H. (2022). Improving resilience of the healthcare supply chain in a pandemic: evidence from Europe during the

COVID-19 crisis. *Journal of Purchasing and Supply Management*, *28*(5). https://doi.org/10.1016/j.pursup.2022.100748

Sundarakani, B., & Onyia, O. P. (2021). Fast, furious and focused approach to Covid-19 response: an examination of the financial and business resilience of the UAE logistics industry. *Journal of Financial Services Marketing*, *26*, 237-258. https://doi.org/10.1057/s41264-021-00118-9

Tortorella, G., Fogliatto, F. S., Gao, S., & Chan, T. K. (2021). Contributions of industry 4.0 to supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, *33*(2), 547-566. https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2020-0494

Trabucco, M., & De Giovanni, P. (2021). Achieving resilience and business sustainability during COVID-19: the role of lean supply chain practices and digitalization. *Sustainability*, *13*(22). https://doi.org/10.3390/su132212369

Tukamuhabwa, B., Stevenson, M., & Busby, J. (2017). Supply chain resilience in a developing country context: a case study on the interconnectedness of threats, strategies and outcomes. *Supply Chain Management*, *22*(6), 486-505. https://doi.org/10.1108/SCM-02-2017-0059

Vali-Siar, M. M., & Roghanian, E. (2022). Sustainable, resilient and responsive mixed supply chain network design under hybrid uncertainty with considering COVID-19 pandemic disruption. *Sustainable Production and Consumption*, *30*, 278-300. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.003

Van Hoek, R., & Dobrzykowski, D. (2021). Towards more balanced sourcing strategies - are supply chain risks caused by the COVID-19 pandemic driving reshoring considerations? *Supply Chain Management*, *26*(6), 689-701. https://doi.org/10.1108/SCM-09-2020-0498

Vanany, I., Ali, M. H., Tan, K. H., Kumar, A., & Siswanto, N. (2021). A supply chain resilience capability framework and process for mitigating the COVID-19 pandemic disruption. *IEEE Transactions on Engineering Management.* https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3116068

Viltard, L. A. (2020). Reinventado la operación minorista después del COVID-19. *Palermo Business Review, 22*. https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/11374

Vimal, K. E. K., Nadeem, S. P., Ravichandran, M., Ethirajan, M., & Kandasamy, J. (2022). Resilience strategies to recover from the cascading ripple effect in a copper supply chain through project management. *Operations Management Research*, *15*, 440-460. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00231-x

Weskamp, C., Koberstein, A., Schwartz, F., Suhl, L., & Voß, S. (2019). A two-stage stochastic programming approach for identifying optimal postponement

strategies in supply chains with uncertain demand. *Omega*, *83*, 123-138. https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.02.008

Zhang, L., Wu, L., Huang, L., & Zhang, Y. (2021). Wield the power of omni-channel retailing strategy: a capability and supply chain resilience perspective. *Journal of Strategic Marketing.* https://doi.org/10.1080/0965254X.2021.1972440

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Science and Technology

Capacidades tecnológicas y ventajas competitivas, análisis bibliométrico

Ailen Estévez-Torres*
https://orcid.org/0000-0002-4337-0250
Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración, Querétaro, México

Alexey Megna-Alicio
https://orcid.org/0000-0001-6714-0452
Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración, Querétaro, México

Graciela Lara Gómez
http://orcid.org/0000-0001-9984-7372
Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración, Querétaro, México

Luis Rodrigo Valencia Pérez
http://orcid.org/0000-0002-1590-5000
Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Contaduría y Administración, Querétaro, México

Recibido: 11 de enero del 2024 / Aceptado: 3 de marzo del 2024
Publicado: 12 de junio del 2024
doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6878

RESUMEN. La investigación se centra en la revisión sistemática de la producción científica sobre capacidades tecnológicas como ventajas competitivas. Para ello, se utiliza como metodología el estudio bibliométrico de bases de datos internacionales como Scielo, Redalyc, Dialnet y DOAJ. Los resultados revelan que esta área es relativamente joven, pero creciente en importancia. Se destaca que la mayoría de los investigadores provienen de México y España, lo que refleja un interés particular en estas regiones.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.
Correos electrónicos en orden de aparición: ailenet94@gmail.com; alexeymegna@gmail.com; glaragomez@yahoo.com.mx; royvalper@hotmail.com

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

Finalmente, se identifican siete enfoques diferentes que demuestran la diversidad en las perspectivas de investigación, para lo cual se emplean herramientas como VOSviewer y Excel para un análisis riguroso y científico.

PALABRAS CLAVE: tecnología / competitividad / bases de datos / bibliometría / ventajas competitivas

TECHNOLOGICAL CAPABILITIES AND COMPETITIVE ADVANTAGES, BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT. The research focuses on a systematic review of the scientific production on "Technological Capabilities as Competitive Advantages". It uses a methodology based on a bibliometric study of international databases such as Scielo, Redalyc, Dialnet and DOAJ. The results reveal that this area is relatively young but growing in importance. It is noteworthy that most of the researchers come from Mexico and Spain, reflecting a particular interest in these regions. Seven different approaches are identified, demonstrating diversity in research perspectives, and tools such as VOSviewer and Excel are used for rigorous and scientific analysis.

KEYWORDS: technology / competitiveness / databases / bibliometrics / competitive advantages

1. INTRODUCCIÓN

En el entorno empresarial actual, las capacidades tecnológicas desempeñan un papel fundamental en la generación de ventajas competitivas para las organizaciones. El rápido avance tecnológico y la creciente digitalización han impulsado la necesidad de comprender el vínculo entre las capacidades tecnológicas y las ventajas competitivas, y cómo este vínculo se ha investigado a lo largo del tiempo.

Las capacidades son elementos fundamentales para alcanzar los objetivos organizacionales. Son a través de estas capacidades que se llevan a cabo tareas administrativas y productivas (Helfat & Peteraf, 2003; Peng et al., 2008). Dado que no pueden transferirse entre empresas, estas se convierten en una fuente de ventaja competitiva sostenible (Wu et al., 2010). Asimismo, las capacidades son especialmente valiosas cuando fomentan un entorno de aprendizaje (Beske et al., 2014). Una capacidad con estas características es la capacidad de absorción (Zahra & George, 2002). Por ejemplo, cuando una empresa posee un alto nivel de esta capacidad, puede aprovechar los conocimientos adquiridos de fuentes externas y aplicarlos, entre otros fines, para identificar oportunidades de negocio (Liu et al., 2013).

Por otro lado, la capacidad de innovación es una habilidad de importancia creciente. A través de ella, se desarrollan nuevas capacidades, ya que permite generar nuevos enfoques e ideas en diversas actividades productivas y de gestión (Al-Mamun et al., 2017; Camisón & Villar-López, 2014). Por último, una capacidad escasa, valiosa e imperfectamente imitable es la agilidad de la cadena de suministro. Esta habilidad capacita a las empresas para responder rápidamente a la incertidumbre y a la dinámica de los mercados (Yang et al., 2014). Desafortunadamente, existe poca investigación sobre dicha capacidad (Yang et al., 2014).

El proceso de acumulación de capacidades tecnológicas en una empresa está influenciado por factores que se encuentran en los niveles meso y macro de la competitividad (Chica-Urzola et al., 2007). Se trata de un proceso de retroalimentación continua que busca generar valor agregado en los bienes y servicios ofrecidos por las organizaciones. Según los planteamientos de Lall (1992), las exportaciones de tecnología media y alta son elementos clave para el crecimiento y desarrollo económico. En ese sentido, el enfoque de capacidades tecnológicas como determinante fundamental de la competitividad industrial, tal y como lo plantea Osorio Barreto et al. (2021), permite vincular el análisis económico de este fenómeno con la dinámica estratégica de la organización. Esto se logra al identificar factores clave como la acumulación e interacción de diferentes tipos de capital, la importación de conocimiento y la infraestructura y políticas públicas definidas por los Gobiernos.

Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación es realizar un estudio bibliométrico exhaustivo que examine la literatura sobre las capacidades tecnológicas

como ventajas competitivas. Para ello, se utilizarán bases de datos académicas reconocidas, como Scielo, Redalyc, Dialnet y DOAJ, para analizar las publicaciones científicas en esta área y evaluar su comportamiento científico a lo largo del tiempo.

El estudio bibliométrico nos permitirá identificar tendencias, patrones y áreas de investigación emergentes en relación con las capacidades tecnológicas y su impacto en la ventaja competitiva de las organizaciones. Además, nos brindará una visión panorámica de los principales autores, instituciones y revistas que han contribuido a este campo, así como las redes de colaboración existentes. Del mismo modo, mediante el análisis bibliométrico, se podrán extraer datos cuantitativos y cualitativos relevantes, como la frecuencia de publicaciones, las palabras clave más utilizadas, las áreas temáticas predominantes y los enfoques metodológicos empleados. Estos hallazgos permitirán identificar lagunas de conocimiento, áreas de investigación prometedoras y posibles direcciones futuras para la investigación en este campo.

2. METODOLOGÍA

Se emplea una metodología que fusiona el análisis bibliométrico y el análisis de contenido con el propósito de examinar la literatura académica acerca de las capacidades tecnológicas como generadoras de ventajas competitivas. Por ello, la elección de la metodología bibliométrica se justifica por tres razones fundamentales. En primer lugar, esta aproximación ha ganado reconocimiento y ha adquirido gran relevancia en las últimas tres décadas (González de Dios et al., 1997), por lo que se ha convertido en una de las herramientas más empleadas para analizar de manera adecuada los recursos científicos (Broadus, 1987). En segundo lugar, su aplicación satisface dos necesidades primordiales para los investigadores noveles: entender la magnitud, evolución y distribución de un tema específico, y obtener una perspectiva geográfica y afiliativa de los grupos de investigación en dicho campo. Finalmente, esta técnica se destaca por su versatilidad en el examen y análisis del impacto o tendencia en cualquier disciplina científica, lo que amplía su eficacia (Chiu & Ho, 2005; Estabrooks et al., 2004).

La calidad del análisis bibliométrico varía según los indicadores bibliométricos empleados, los cuales son "medidas que proporcionan información sobre los resultados de la actividad científica en una institución, país o región del mundo; como toda medida, pueden recopilarse, tabularse y permiten comparaciones" (Estévez-Torres et al., 2021, p. 3).

Los elementos constitutivos extraídos del trabajo realizado por Manzano y Andréu (2000) son los siguientes: (a) tema de estudio, (b) sistema de categorización, (c) datos geográficos, (d) técnicas utilizadas, y (e) resultados e inferencias. Asimismo, la ejecución del estudio siguió una serie de pasos: (1) selección de las bases de datos Scielo, Dialnet,

Redalyc y DOAJ, las cuales son reconocidas por su calidad de publicación y los recursos que indexan; (2) elección de las unidades de análisis documental —en todas las bases de datos se optó por los artículos—; (3) estrategia de búsqueda —para la búsqueda avanzada se utilizaron términos como *capacidades tecnológicas* y *ventajas competitivas*, o *technological capabilities* y *competitive advantages* en los campos "Título del artículo", "Resumen", y "Palabras clave". Los resultados se procesaron en Microsoft Office Excel y se empleó VOSviewer para ayudar en el análisis.

3. RESULTADOS

3.1 Productividad por documentos y por años

807 artículos fueron encontrados en Redalyc; 17, en Dialnet; 5, en DOAJ; 4, en Scielo, todos publicados entre 1992 y 2023. Estos datos muestran el interés por esta temática. De acuerdo con las tres fases de la curva de evolución propuesta por Benavent et al. (1995), el estudio realizado en diferentes bases de datos puede revelar tendencias y comportamientos diferentes en cuanto al desarrollo de una temática (p. 7).

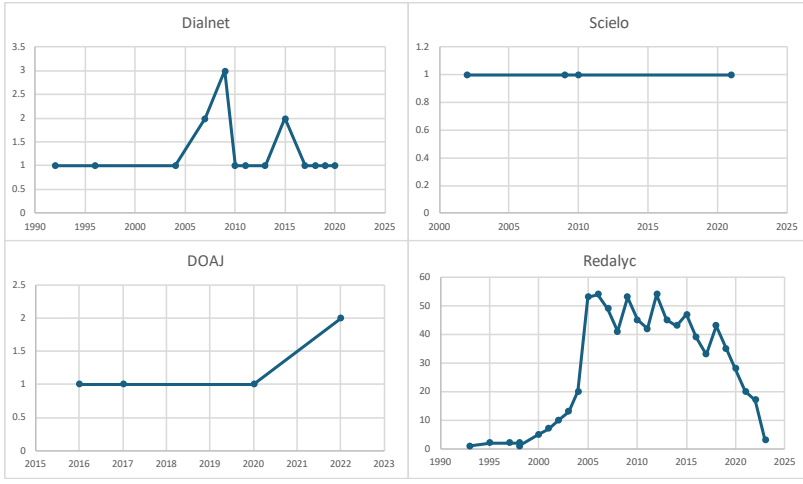
La Figura 1 muestra los artículos por bases de datos y años de publicación. Con ello, se pueden analizar las tendencias y las fases en la que se encuentran cada una de las bases de datos.

1. *Dialnet (fase de crecimiento)*. Según los resultados, Dialnet se encuentra en la fase de crecimiento. Esto significa que la cantidad de publicaciones relacionadas con la temática está aumentando con el tiempo. Además, es probable que esta base de datos esté experimentando un interés creciente en la temática por parte de los investigadores y autores, lo que se refleja en un aumento constante en el número de artículos y estudios publicados.
2. *Scielo (inicios).* En el caso de Scielo, la temática se encuentra en sus inicios. Esto podría indicar que la investigación en esta área específica está en una etapa temprana de desarrollo en comparación con otras. Es posible que Scielo no tenga tantos recursos o investigadores centrados en esta temática en particular.
3. *DOAJ (inicios)*. Al igual que Scielo, DOAJ también se encuentra en la fase de inicios. Esto sugiere que la temática aún no ha alcanzado un nivel de madurez en términos de investigación y publicaciones en esta base de datos. Puede deberse a una falta de interés o a una tendencia emergente que está empezando a ganar atención.
4. *Redalyc (decrecimiento).* En los resultados para Redalyc, se observa que la curva va bajando, lo que significa que la cantidad de publicaciones relacionadas con la temática está disminuyendo con el tiempo. Esto podría indicar que la temática

ha pasado su punto máximo de interés y está perdiendo relevancia en la comunidad científica. Es posible que los investigadores estén centrando su atención en otras áreas de estudio.

Figura 1

Artículos publicados en Dialnet, Scielo, DOAJ y Redalyc



En cuanto a la curva planteada por Benavent et al. (1995), es importante destacar que la curva de desarrollo de una temática puede variar ampliamente según diversos factores, como cambios en la importancia social o científica de la temática, avances tecnológicos, cambios en las políticas de investigación, entre otros. Entonces, para obtener una comprensión más completa de por qué se observa este comportamiento en cada base de datos y cómo se relaciona con la curva de Benavent et al. (1995), sería necesario realizar un análisis más detallado de los datos y de los factores contextuales que pueden estar influyendo en estos patrones de desarrollo.

En un análisis general, se tiene que, es a partir del año 2006, cuando se comienza a observar que el número de publicaciones va en aumento —efecto que sigue lo establecido en la ley de Price—, el crecimiento de la información es de carácter exponencial, incluso después de diez a quince años la información se duplica (De Solla Price, 1963). Los años con mayor productividad fueron el 2012 (54 artículos en Redalyc), 2009 (3 artículos en Dialnet) y el 2022 (2 artículos en DOAJ).

3.2 Productividad autoral y la coautoría

Se han registrado un total de 908 autores, con un índice de productividad por autor de 1,06 artículos en promedio. Según el índice de Lotka, que para este caso tiene un valor de

0,4, se puede concluir que estos autores se clasifican como pequeños productores. Este índice, definido como *PI* = log *N*, donde el logaritmo decimal (log) determina la productividad individual (PI) de cada autor (Lotka, 1926), establece esta categorización de acuerdo a los patrones de producción académica observados.

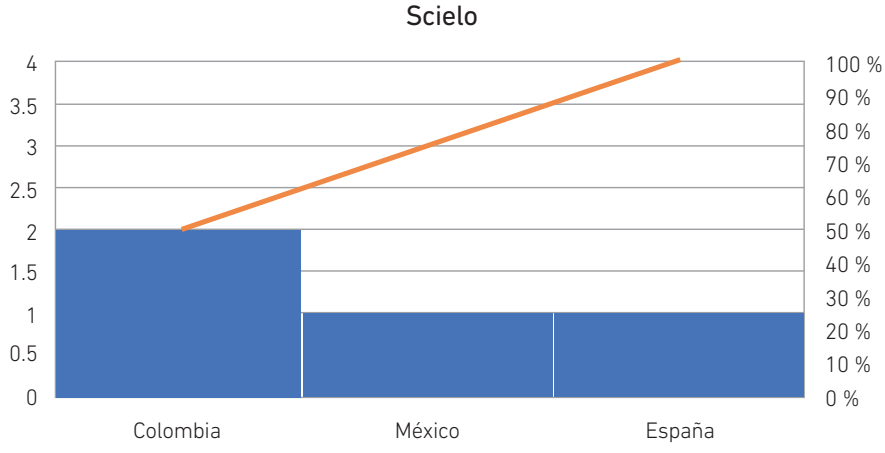
Respecto a las coautorías, se puede notar que el 7,8 % de publicaciones son exclusivamente de un solo autor; el 12,3 %, de dos autores; el 39,7 % cuentan con la participación de tres autores; y el 40,2 % son el resultado del esfuerzo conjunto de cuatro o más autores. En relación con el tema de la coautoría, el índice es de 2,82.

3.3 Productividad por países

En la evaluación realizada en Scielo, se destaca la notable productividad de Colombia, con la publicación de dos artículos. Tal país muestra un compromiso continuo con la investigación y la producción académica. Luego de Colombia, se encuentran México y España, ambos países tienen una presencia significativa en el ámbito de la investigación con un artículo en cada caso (véase la Figura 2).

Figura 2

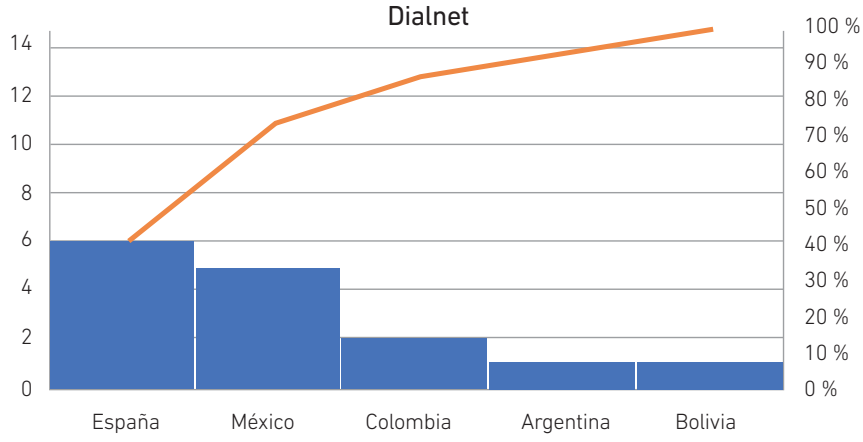
Cantidad de artículos publicados en Scielo por países



En la plataforma Dialnet, España lidera la lista con una notable producción de seis artículos (véase la Figura 3). Esto subraya el enfoque continuo de España en la generación de conocimiento y la contribución a la comunidad académica. Muy cerca de España, México muestra una presencia sólida, lo que indica un esfuerzo constante en la creación de investigaciones significativas y relevantes (véase la Figura 3).

Figura 3

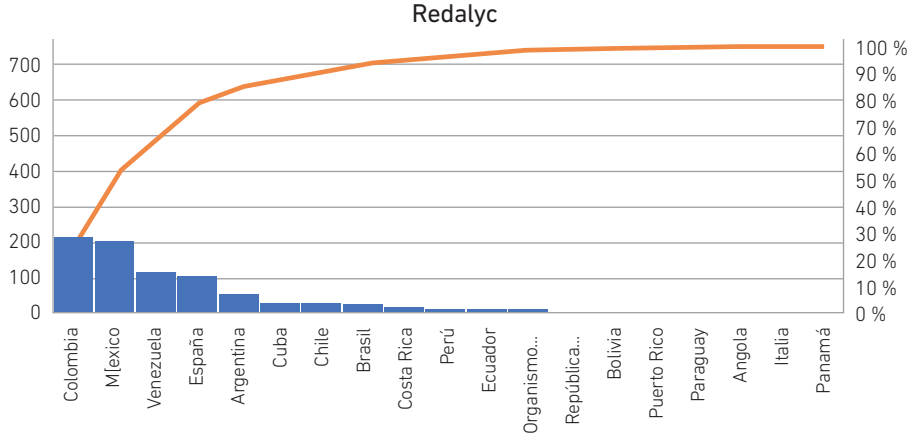
Artículos publicados en Dialnet por países



En la plataforma Redalyc, Colombia encabeza la lista con una impresionante cantidad de 214 artículos (véase la Figura 4). Le siguen de cerca México y Venezuela, lo que demuestra un alto nivel de actividad investigativa en estas naciones. España también está presente en la lista y resalta su contribución a la producción académica en la región (véase la Figura 4).

Figura 4

Artículos publicados en Redalyc por países

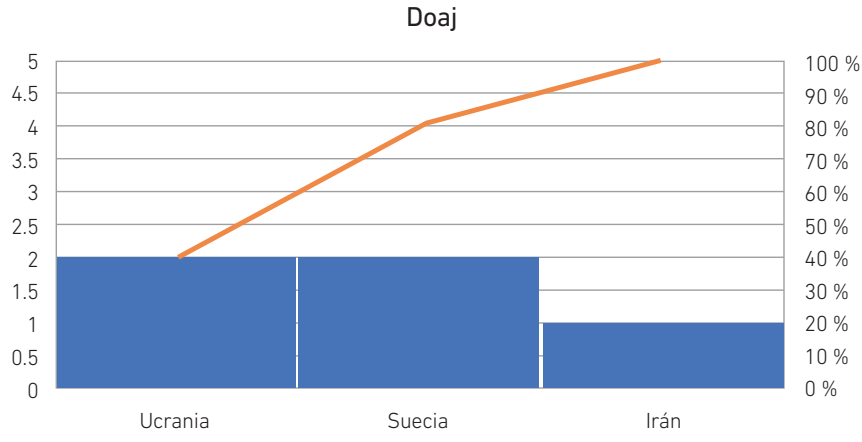


En el caso de DOAJ (véase la Figura 5), Ucrania emerge como un líder en productividad, con una presencia destacada en la creación de investigaciones de calidad. La producción académica de Ucrania demuestra su compromiso con la generación y difusión de

conocimiento en diversas áreas del saber. Asimismo, Suiza también se destaca en este ámbito, lo que reafirma su posición como un país que valora la investigación y la colaboración internacional (véase la Figura 5).

Figura 5

Artículos publicados en DOAJ por países

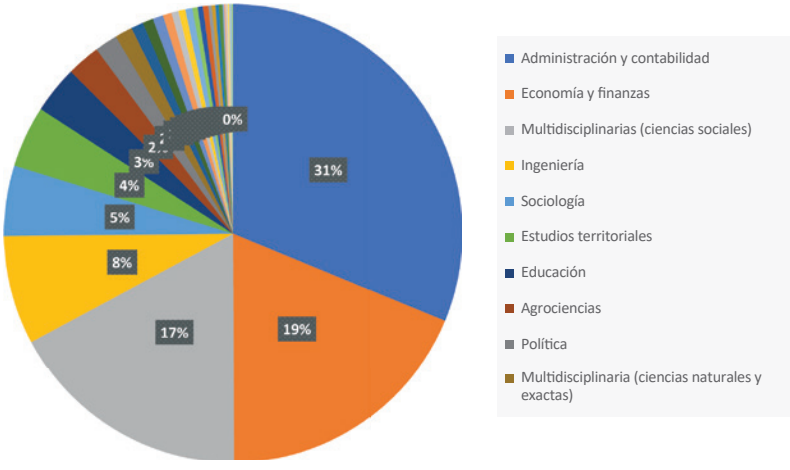


3.4 Áreas del conocimiento

Los resultados revelaron que diversas disciplinas contribuyen al entendimiento y desarrollo de las capacidades tecnológicas en el ámbito empresarial. En la Figura 6 se presentan los hallazgos clave en cuanto a la productividad por áreas del conocimiento.

Figura 6

Artículos por áreas de conocimiento



1. *Administración y contabilidad (31 %).* La administración y contabilidad emergieron como las áreas más prominentes en términos de investigación en capacidades tecnológicas. Estudios en este campo exploraron cómo las tecnologías impactan la gestión empresarial, la toma de decisiones y la optimización de recursos. La intersección entre la gestión y la tecnología se destacó como una pieza fundamental para la creación de ventajas competitivas.
2. *Economía y finanzas (19 %).* Los estudios centrados en economía y finanzas representan una parte significativa del corpus bibliométrico. Estos análisis examinaron el papel de las capacidades tecnológicas en la generación de valor económico, la eficiencia financiera y la mejora de la rentabilidad. Se exploraron cómo las inversiones en tecnología afectan los resultados financieros y cómo las empresas pueden utilizar sus capacidades tecnológicas para diferenciarse en el mercado.
3. *Estudios multidisciplinarios (17 %).* La naturaleza interdisciplinaria del estudio de las capacidades tecnológicas quedó reflejada en la proporción de investigaciones multidisciplinarias. Estos enfoques integradores abordaron aspectos que van más allá de un solo campo del conocimiento, combinando elementos de diversas disciplinas para comprender mejor la complejidad de las capacidades tecnológicas y su impacto en la competitividad.
4. *Ingeniería (8 %).* Aunque en menor medida, los estudios de ingeniería desempeñaron un papel fundamental en el análisis de las capacidades tecnológicas. Estos estudios se enfocaron en la creación, desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras que permiten a las empresas fortalecer sus capacidades y generar ventajas competitivas a través de la innovación tecnológica.

Aunque se identificaron otras áreas del conocimiento, como la sociología y los estudios territoriales, como contribuyentes a la comprensión de las capacidades tecnológicas, las áreas mencionadas anteriormente destacaron como las más significativas en términos de productividad y enfoque de investigación. Estos resultados subrayan la naturaleza multidimensional de las capacidades tecnológicas como ventajas competitivas y la necesidad de un enfoque holístico que involucre diversas disciplinas para su análisis y desarrollo efectivo en el entorno empresarial.

3.5 Metodologías empleadas

El 56 % de las investigaciones adopta un enfoque combinado de técnicas cuantitativas y cualitativas. En el 21 % de los casos, se emplean únicamente técnicas cuantitativas, mientras que en el 23 % se opta por enfoques puramente cualitativos. Respecto a las fuentes de información utilizadas, se observa que el 62 % de estudios ha optado por fuentes primarias, involucrando entrevistas y encuestas para la recolección de datos. Por otro

lado, 17 % de las investigaciones ha recurrido a fuentes secundarias y se ha enfocado en la revisión y recopilación de datos de diversas fuentes adicionales. Además, 11 % de los trabajos ha adoptado una metodología que combina ambas fuentes de información.

3.6 Análisis de contenido

El análisis de contenido de los artículos sobre la capacidad tecnológica como ventaja competitiva es crucial para comprender cómo las organizaciones pueden utilizar sus habilidades y recursos tecnológicos para ganar ventaja en un entorno empresarial cada vez más competitivo. Este tipo de análisis implica examinar detenidamente los enfoques, estrategias y casos de estudio presentados en los artículos para identificar patrones, tendencias y mejores prácticas relacionadas con el uso de la capacidad tecnológica como motor de la ventaja competitiva. Frente a ello, se identificaron algunos enfoques en los artículos revisados, entre los cuales destacan los siguientes:

1. *Estrategias de innovación*. Los artículos exploran cómo las empresas desarrollan y aplican tecnologías innovadoras para diferenciarse de la competencia. Esto podría incluir la adopción de nuevas tecnologías emergentes, la mejora de productos y servicios, mediante la incorporación de avances tecnológicos, o la creación de soluciones completamente nuevas que cambian la dinámica del mercado.
2. *Agilidad tecnológica.* La capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos es esencial en el entorno actual. Abordan cómo las organizaciones mantienen su capacidad para incorporar y aprovechar nuevas tecnologías a medida que surgen, lo que les permite mantenerse a la vanguardia y reaccionar ante las demandas cambiantes del mercado.
3. *Gestión del conocimiento.* La tecnología avanza rápidamente, por lo que las empresas deben encontrar formas de capturar, compartir y aplicar el conocimiento tecnológico de manera efectiva. Los artículos destacan cómo las organizaciones establecen sistemas y procesos para gestionar y distribuir el conocimiento interno relacionado con la tecnología, lo que les permite mejorar su capacidad tecnológica y, por lo tanto, su ventaja competitiva.
4. *Colaboración y alianzas estratégicas.* Los enfoques de colaboración, como la cooperación con otras empresas, universidades o centros de investigación, pueden aumentar la capacidad tecnológica de una organización. Los artículos exploran cómo las alianzas estratégicas pueden brindar acceso a recursos y conocimientos tecnológicos que de otra manera serían difíciles de obtener.
5. *Protección de la propiedad intelectual.* La tecnología, a menudo, implica la creación de propiedad intelectual valiosa, como patentes y derechos de autor. Los

artículos abordan cómo las organizaciones protegen y gestionan sus activos de propiedad intelectual, lo que puede ser fundamental para mantener su ventaja competitiva a largo plazo.

6. *Efectos en la cadena de valor.* La capacidad tecnológica puede afectar diversos aspectos de la cadena de valor de una organización, desde la investigación y desarrollo hasta la producción, la distribución y el servicio al cliente. En los artículos se analiza cómo la tecnología influye en cada etapa de la cadena de valor y cómo esta influencia contribuye a la ventaja competitiva general.

Desde la perspectiva de la ciencia y la investigación académica, se ha abordado el tema de las capacidades tecnológicas como ventajas competitivas de diversas maneras. A continuación, se resumen algunas de las principales formas en que la ciencia ha tratado este tema:

1. *Estudios empíricos.* La investigación empírica ha examinado cómo las organizaciones pueden desarrollar y aprovechar las capacidades tecnológicas para obtener una ventaja competitiva. Estos estudios, a menudo, analizan casos reales de empresas para identificar las prácticas y estrategias que les permiten utilizar la tecnología de manera efectiva y ganar una posición competitiva.

2. *Marco teórico.* Se han desarrollado marcos teóricos para comprender cómo las capacidades tecnológicas contribuyen a la ventaja competitiva. Estos marcos teóricos, a menudo, se basan en conceptos como la absorción de tecnología, el aprendizaje organizativo y la innovación tecnológica para explicar cómo las organizaciones pueden crear y mantener ventajas competitivas a través de la tecnología.

3. *Medición de capacidades tecnológicas*. Se han desarrollado herramientas y métricas para medir y evaluar las capacidades tecnológicas de una organización. Estas métricas ayudan a las empresas a comprender su posición relativa en términos de tecnología y a identificar áreas de mejora.

4. *Gestión del conocimiento*. La gestión del conocimiento y el conocimiento tecnológico han sido temas de investigación importantes en relación con las capacidades tecnológicas. La ciencia ha explorado cómo las organizaciones pueden adquirir, almacenar, compartir y utilizar el conocimiento tecnológico de manera efectiva para impulsar la ventaja competitiva.

5. *Efectos en la innovación*. Se ha investigado cómo las capacidades tecnológicas afectan a la capacidad de una organización para innovar. Además, se ha demostrado que las organizaciones con fuertes capacidades tecnológicas tienen una mayor probabilidad de desarrollar productos y servicios innovadores, lo que puede traducirse en una ventaja competitiva significativa.

6. *Estrategias de colaboración.* Se ha estudiado cómo las alianzas estratégicas y la colaboración con otras organizaciones pueden fortalecer las capacidades tecnológicas y, por lo tanto, contribuir a la ventaja competitiva. La investigación ha examinado cómo las empresas pueden aprovechar la experiencia tecnológica de socios externos.

La ciencia ha abordado las capacidades tecnológicas como ventajas competitivas desde múltiples enfoques. Esto ha ayudado a las organizaciones a comprender mejor cómo desarrollar, gestionar y aprovechar sus capacidades tecnológicas para mantener una posición competitiva en un entorno empresarial en constante evolución.

El análisis del contenido de los artículos sobre la capacidad tecnológica como ventaja competitiva implica desglosar y examinar detenidamente las estrategias, enfoques y lecciones presentadas en esos materiales. Al comprender cómo las organizaciones aplican la tecnología para ganar ventaja competitiva, otras empresas pueden obtener conocimientos valiosos para mejorar sus propias capacidades tecnológicas y posicionarse mejor en el mercado. Sin embargo, no se encontraron casos de estudio y ejemplos reales que proporcionen ideas y lecciones aplicables a otras organizaciones que buscan mejorar su posición en el mercado a través de la tecnología.

4. CONCLUSIONES

El presente estudio proporciona una visión profunda y sistemática sobre la relación entre las capacidades tecnológicas y las ventajas competitivas en el contexto de la región iberoamericana. A través del análisis exhaustivo de una amplia variedad de fuentes bibliográficas, se han identificado patrones y tendencias significativas que arrojan luz sobre este campo de investigación crucial. No obstante, se destaca la necesidad continua de seguir avanzando en este tema para comprender de manera más completa y precisa la interacción entre las capacidades tecnológicas y la ventaja competitiva.

Una de las observaciones clave es que España, México y Colombia emergen como los países más avanzados en la región iberoamericana en términos de desarrollo de capacidades tecnológicas y su consecuente aplicación para alcanzar ventajas competitivas. Estos países han demostrado un compromiso sustancial con la inversión en investigación y desarrollo, así como una colaboración efectiva entre los sectores académicos, industriales y gubernamentales. La adopción y adaptación de nuevas tecnologías, así como la promoción de la innovación, han sido factores fundamentales que han ubicado a estos países en una posición destacada en la región.

Además, se ha identificado un área de oportunidad crucial en la integración de diversas disciplinas del conocimiento para llevar a cabo estudios de corte multidisciplinario en el campo de las capacidades tecnológicas y las ventajas competitivas. La interacción entre

la tecnología, la economía, la sociología, la gestión empresarial y otras disciplinas puede proporcionar una comprensión más holística y profunda de cómo las organizaciones pueden aprovechar al máximo sus capacidades tecnológicas para lograr una ventaja competitiva sostenible.

En última instancia, el estudio bibliométrico subraya la importancia de continuar investigando y explorando las complejidades de las capacidades tecnológicas como ventajas competitivas en la región iberoamericana. A medida que el entorno empresarial y tecnológico evoluciona constantemente, es esencial mantenerse al día con las tendencias emergentes y los enfoques innovadores en esta área. La colaboración entre académicos, profesionales y responsables de políticas públicas será esencial para seguir avanzando en el conocimiento y la aplicación de las capacidades tecnológicas, con el fin de impulsar la competitividad y el crecimiento en la región y más allá.

5. REFERENCIAS

Al-Mamun, A., Muhammad, N. M. N., & Ismail, M. B. (2017). Absorptive capacity, innovativeness and the performance of micro-enterprises in Malaysia. *Vision: The Journal of Business Perspective*, *21*(3), 243-249. https://doi.org/10.1177/0972262917716729

Benavent, R. A., Sánchez, J. G., Ferrandis, M. T., & Piñero, J. L. (1995). Análisis del consumo de información en la revista *Anales Españoles de Pediatría*. *Anales de Pediatría*, *43*(6), 399-406. https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Aleixandre-Benavent/publication/283960450_Analysis_of_the_consumption_of_information_in_the_journal_Anales_Espanoles_de_Pediatria/links/568ab4ea08aebccc4e1a16c5/Analysis-of-the-consumption-of-information-in-the-journal-Anales-Espanoles-de-Pediatria.pdf

Beske, P., Land, A., & Seuring, S. (2014). Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: a critical analysis of the literature. *International Journal of Production Economics*, *152*, 131-143. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.026

Broadus, R. N. (1987). Toward a definition of "bibliometrics". *Scientometrics*, *12*, 373-379. https://doi.org/10.1007/BF02016680

Camisón, C., & Villar-López, A. (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. *Journal of business research*, *67*(1), 2891-2902. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.06.004

Chica-Urzola, H., Escobar-Córdoba, F., & Eslava-Schmalbach, J. (2007). Validación de la Escala de omnolencia de Epworth. *Revista de Salud Pública*, *9*(4), 558-567. https://www.redalyc.org/pdf/422/42219060008.pdf

Chiu, W. T., & Ho, Y. S. (2005). Bibliometric analysis of homeopathy research during the period of 1991 to 2003. *Scientometrics*, *63*(1), 3-23. https://doi.org/10.1007/s11192-005-0201-7

De Solla Price, D. J. (1963). *Little science, big science*. Columbia University Press. https://doi.org/10.7312/pric91844

Estabrooks, C. A., Winther, C., & Derksen, L. (2004). Mapping the field: a bibliometric analysis of the research utilization literature in nursing. *Nursing research*, *53*(5), 293-303. https://journals.lww.com/nursingresearchonline/abstract/2004/09000/mapping_the_field__a_bibliometric_analysis_of_the.3.aspx

Estévez-Torres, M. A., Megna-Alicio, D. A., & Toranzo-Rodríguez, I. L. (2021). Análisis de la gestión del talento en las universidades a nivel. *Revista Electrónica Innovación Tecnológica*, *27*(2). https://www.academia.edu/81763205/Análisis_de_la_gestión_del_talento_en_las_universidades_a_nivel_mundial

González de Dios, J. G., Moya, M., & Mateos Hernández, M. A. (1997). Indicadores bibliométricos: características y limitaciones en el análisis de la actividad científica. *An Esp Pediatr*, *47*(3), 235-244. https://www.aeped.es/sites/default/files/anales/47-3-3.pdf

Helfat, C. E., & Peteraf, M. A. (2003). The dynamic resource-based view: capability lifecycles. *Strategic Management Journal*, *24*(10), 997-1010. https://doi.org/10.1002/smj.332

Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World Development*, *20*(2), 165-186. https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F

Liu, L., Dai, D., Gao, S., Xu, D. X., & He, S. (2013). Polarization management for silicon photonic integrated circuits. *Laser & Photonics Reviews*, *7*(3), 303-328. https://doi.org/10.1002/lpor.201200023

Lotka, A. J. (1926). The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, *16*(12), 317-323. https://www.jstor.org/stable/24529203

Manzano, V., & Andreu, J. (2000). Formatos para ítems en las encuestas electrónicas. Antecedentes y propuestas. *Metodología de Encuestas*, *2*(1), 61-101. https://hdl.handle.net/11441/96586

Osorio Barreto, D., Cardona Arenas, C. D., & Naranjo Herrera, C. G. (2021). Sanjaya Lall: la competitividad industrial y las capacidades tecnológicas. *Apuntes del CENES*, *40*(71), 41-74. https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n71.2021.10659

Peng, D. X., Schroeder, R. G., & Shah, R. (2008). Linking routines to operations capabilities: A new perspective. *Journal of operations management*, *26*(6), 730-748. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.11.001

Wu, S. J., Melnyk, S. A., & Flynn, B. B. (2010). Operational capabilities: the secret ingredient. *DecisionSciences*,*41*(4),721-754.https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2010.00294.x

Yang, Y., Yang, J., Yan, J., Liao, S., Yi, D., & Li, S. Z. (2014, 6-12 de setiembre). *Salient color names for person re-identification*. En D. Fleet, T. Pajdla, B. Schiele & T. Tuytelaars (Eds.), *Computer Vision–ECCV 2014* (pp. 536-551). https://doi.org/10.1007/978-3-319-10590-1_35

Zahra, S. A., & George, G. (2002). The net-enabled business innovation cycle and the evolution of dynamic capabilities. *Information Systems Research*, *13*(2), 147-150. https://www.jstor.org/stable/23011052

DATOS DE LOS AUTORES

DISEÑO DE UN PROGRAMA PREVENTIVO PARA UTILIZAR ADECUADAMENTE EL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL CON BASE EN LA NOM-017-STPS-2008

ELIZABETH DUARTE BELTRÁN
Doctora en Ciencias de la Educación por el Instituto de Estudios Superiores del Estado de Puebla. Magíster en Docencia por el Instituto Tecnológico de Oaxaca y licenciada en Diseño Industrial por la Universidad Iberoamericana en la Ciudad de México. Se desempeñó en la organización General Electric como ingeniera en diseño, donde desarrolló planos normalizados de turbinas y generadores de aviones, y en Alstom Bombardier en al área de ingeniería eléctrica. Actualmente, trabaja en la Universidad Tecnológica de la Mixteca como profesora investigadora en la jefatura de Ingeniería Industrial y Automotriz. Publicó recientemente el artículo "Diseño de un programa preventivo empleando la NOM-037-STPS-2023 para una muestra de teletrabajadores mexicanos" en la revista multidisciplinar *Ciencia Latina*.

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO EN EXTREMIDADES SUPERIORES DE VARONES DURANTE UNA TAREA REPETITIVA A DOS RITMOS DE TRABAJO: ESTUDIO EXPERIMENTAL

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ-ONTIVEROS
Doctor en Ingeniería Industrial por el Institut National Polytechnique de Grenoble, magíster en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional e ingeniero industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana. Se desempeña como profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco.

ENRIQUE ÁVILA-SOLER
Doctor en Ciencias en Socioeconomía, Estadística e Informática-Economía del Colegio de Postgraduados, magíster en Ciencias en Administración, Planificación y Economía de Hidrocarburos por el Instituto Politécnico Nacional e ingeniero industrial por el mismo instituto. Se desempeña como profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco.

MARTHA HANEL GONZALEZ
Magíster en Administración de Sistemas de Calidad por la Universidad del Valle de México e ingeniera industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana. Se desempeña como profesora investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco.

JESÚS LOYO-QUIJADA
Ingeniero Industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana. Se desempeña como profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco.

IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES ERGONÓMICAS DEL SERVICIO DE ATENCIÓN EN LAS CASETAS DE PEAJE DE UNA EMPRESA DE SERVICIO

YAHAIRA CELYM MAGNO RAMOS
Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Posee experiencia en el ámbito administrativo debido a su desempeño en las empresas Agencia B12 y PUIG.

FIORELLA DEL CARMEN SOTO LINARES
Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima con especialización en Supply Chain Management por la Escuela de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Actualmente, se desempeña como practicante profesional de operaciones para la empresa Lima Expresa.

MEJORA EN LA GESTIÓN DE ABASTECIMIENTO, PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN A TRAVÉS DE LAS HERRAMIENTAS *MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING* Y *MASTER PRODUCTION SCHEDULE* EN UNA MYPE *DARK KITCHEN*

DORA ANTONELLA CELI CHAVEZ
Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en el ámbito administrativo gracias a su cumplimiento de prácticas en la Universidad San

Martín de Porres. Además, participó en la gestión de proyectos en el Centro de Simulación de la Universidad San Martín de Porres y participó en el curso ASGE, en consorcio con la American Heart Association.

NICOLE XIMENA MENDIOLA ZAPATA
Bachiller en Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Cuenta con experiencia en áreas como atención al cliente, comercial y seguridad, salud ocupacional y medio ambiente (SSOMA). Ha formado parte de un proyecto de mapeo de procesos de una naviera, en la que formó parte de la implementación de una plataforma del sistema integrado de gestión para cuatro países. Actualmente, se desempeña en el área comercial de Luz del Sur.

EZILDA MARÍA CABRERA GIL GRADOS
Magíster en Administración de Negocios por ESAN (Perú) y es ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Es profesional sénior bilingüe con amplia experiencia en educación universitaria, tanto en gestión como en docencia, y lidera el área de modelación para la toma de decisiones en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Ha publicado el libro *Modelos de programación lineal: guía para su formulación y solución* (2017). Como investigadora, tiene publicaciones en revistas y congresos indexados en Scopus. Es proactiva en la adopción de nuevas tecnologías, especialmente, para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN EN EMPRESAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA DE AGUASCALIENTES-MÉXICO

CARMEN ESTELA CARLOS ORNELAS
Doctora en Administración por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, magíster en Administración por la Universidad de Guanajuato y licenciada en Administración por el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, actualmente, campus del Tecnológico Nacional de México al que se encuentra adscrita, donde se ha desempeñado como jefa de departamento y profesora investigadora. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Fue editora de la revista de ciencias administrativas *Teoría y Praxis* (2014-2017) y presidió el capítulo de administración de la calidad de la Academia de Ciencias Administrativas, A. C. (2007-2018). Autora de múltiples artículos, ponencias y capítulos de libros. Ha evaluado artículos, proyectos y programas de posgrado en CONACYT, PRODEP y en el Tecnológico Nacional de México.

DANIEL CASTILLO CORRAL
Cuenta con título/grado en proceso del doctorado en Administración de la Universidad IEXPRO (mayo 2022-septiembre 2023). Magíster en Ciencias en Administración por el

Instituto Tecnológico de Aguascalientes (2003-2006). Licenciado en Medios Masivos de Comunicación por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (1991-1996). Actualmente, es coordinador de la maestría en Gestión Administrativa del Instituto Tecnológico de Aguascalientes, adscrito como profesor de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México, actualmente, campus Instituto Tecnológico de Aguascalientes.

DULCE INÉS CASTAÑEDA FERNÁNDEZ
Cuenta con grado en proceso de la maestría en Gestión Administrativa del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Aguascalientes (2022-2024). Ingeniera en alimentos por la Universidad Autónoma de Puebla (2012-2017). Especialista en sistemas de gestión de inocuidad y calidad. Actualmente, es coordinadora de calidad en la empresa logística Transportes del Bosque, ubicada en la ciudad de Aguascalientes, México.

JUAN GERARDO MEJÍA REYES
Magíster en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey e ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, actualmente, campus del Tecnológico Nacional de México en donde labora como catedrático adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial. Coautor de artículos, ponencias y capítulos de libros.

HÉCTOR MANUEL RESÉNDIZ SERRANO
Magíster en Administración. Profesor de tiempo completo adscrito al Tecnológico Nacional de México, actualmente, campus del Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México. Publicaciones en *Revista Científica* (Chile), *Revista Tecnológica CEA* (México), *Boletín Científico y de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA* (México).

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

YAZMÍN HERNÁNDEZ CHÁVEZ
Doctora en Administración Gerencial por el Instituto de Estudios Universitarios, Puebla, México. Magíster en Ciencias de la Calidad por la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Química Industrial por la Universidad Autónoma de Tlaxcala, México. Actualmente, es profesora de tiempo completo en el Programa Educativo de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Tlaxcala, México. Ha laborado en el sector privado en empresas del giro metalmecánico y químico. En el sector educativo, ha participado en diferentes instituciones a nivel licenciatura y posgrado, como docente y como coordinadora académica. Sus líneas de investigación son los sistemas de calidad, recursos humanos y enfoque de sistemas en general.

GERARDO HERNÁNDEZ CHÁVEZ

Doctor en Administración Gerencial por el Instituto de Estudios Universitarios (México). Magíster en Ciencias de la Calidad por la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico de Apizaco. Actualmente, es profesor de tiempo completo en el Programa Educativo de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Tlaxcala, México. Ha laborado en el sector privado en empresas del giro metalmecánico, textil y autopartes. En el sector educativo, ha participado en diversas instituciones a nivel de licenciatura y posgrado, como docente y coordinador académico. Sus líneas de investigación son enfoque de sistemas en general, sistemas de calidad y recursos humanos.

PROPUESTA DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CAFÉ EN CAFETERÍAS DE LA CIUDAD DE LIMA EN PERÚ

BERTHA DÍAZ-GARAY

Doctora en Ciencias Contables y Empresariales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, magíster en Administración por la Universidad del Pacífico e ingeniera química de la Universidad Nacional de Ingeniería (Perú). Con especialización internacional en Gestión de la Innovación por la Universidad ESAN (Perú) y *stage* internacional de Innovación en La Salle, Universidad Ramón LLull (España). Especialización en Design Thinking y Transformación digital por MIT Executive Education (Estados Unidos).

GIANCARLO MEDROA DELGADO

Magíster en Administración de Empresas (MBA) por la Universidad Adolfo Ibañez de Chile y licenciado en Administración por la Universidad de Lima. Docente de la Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas de la Universidad de Lima y, actualmente, es coordinador de grados y títulos de la carrera de Administración de la mencionada facultad. También se desempeñó como coordinador de calidad y acreditación en la misma facultad. Asimismo, ha sido docente de cursos de finanzas en la Facultad de Gestión y Alta Dirección en la PUCP y en la Escuela de Posgrado de la UPC. Es coautor del libro *Matemática financiera* (2017) de la colección Economaker, de la editorial gráfica Jurado, y ha participado en los congresos académicos de AIB y CLADEA.

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ

Doctor en Gestión de Empresas por la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Miembro del ISSE_IndustrialEngineer (Estados Unidos). Tiene amplia experiencia en el diseño e implementación de tecnología orientada al análisis de datos y metodología de investigación científica con proyectos desarrollados en operaciones, cadenas de abastecimiento, analítica en *retail* y servicios de educación.

JUAN CORIAT NUGENT

Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Marcelino Champagnat. Magíster en Gestión y Dirección de Empresas Constructoras e Inmobiliarias por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Licenciado en Administración por la Universidad del Pacífico. Actualmente, es docente asociado en la carrera de Marketing en la Universidad de Lima. Cuenta con 14 años de experiencia académica en las universidades del Consorcio de Universidades y 25 años de experiencia en dirección comercial y dirección general en corporaciones nacionales y transnacionales, principalmente, en los sectores consumo masivo, construcción e hidrocarburos.

INCREMENTO DEL *NET PROMOTER SCORE* A TRAVÉS DE LA GESTIÓN POR PROCESOS: ESTUDIO DE CASO EN EL *RETAIL* DE UNIFORMES MÉDICOS

GUSTAVO ARMANDO IBAÑEZ RODRÍGUEZ

Magíster en Gestión de Operaciones y Servicios Logísticos por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Ingeniero Industrial por la Universidad Cesar Vallejo. Actualmente, en proceso de titulación. Además, cursa una maestría ejecutiva en Transformación Digital en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Desarrolló el rol de jefe de operaciones y logística en la empresa Moda Salud S. A. C.

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE RESILIENCIA DEL SECTOR *RETAIL* FRENTE A DISRUPCIONES EN LA CADENA DE SUMINISTRO

RAFAEL ANTONIO PINTO MATTA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima con mención en Sistemas de Calidad. Labora en el área de planificación y logística de productos de gran consumo importados en hipermercados Tottus, importante empresa de *retail* con presencia en Perú y Chile, donde actualmente se desempeña como analista de abastecimiento.

GONZALO ALFREDO PEÑA TIPIAN

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Durante el 2022, ha trabajado en el área de *supply* como supervisor de operaciones del sector *retail* en las tiendas por departamento Ripley Perú. Desde el 2023, trabaja en el área de logística para productos de moda en Puma, importante empresa global, donde actualmente se desempeña como analista de logística.

EZILDA MARÍA CABRERA GIL GRADOS

Magíster en Administración de Negocios por ESAN (Perú) y es ingeniera industrial por la Universidad de Lima (Perú). Es profesional sénior bilingüe con amplia experiencia en

educación universitaria, tanto en gestión como en docencia, y lidera el área de modelación para la toma de decisiones en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Ha publicado el libro *Modelos de programación lineal: guía para su formulación y solución* (2017). Como investigadora, tiene publicaciones en revistas y congresos indexados en Scopus. Es proactiva en la adopción de nuevas tecnologías, especialmente, para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

CAPACIDADES TECNOLÓGICAS Y VENTAJAS COMPETITIVAS, ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

AILEN ESTEVEZ TORRES

Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Producción por la Universidad de Las Tunas (Cuba) y viene cursando la maestría en Gestión de la Tecnología en la Universidad Autónoma de Querétaro. Es ingeniera industrial por la misma universidad. Profesora auxiliar del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Las Tunas. Cuenta con ocho años de experiencia como docente. Cuenta con publicaciones relacionadas con la gestión de la producción, organización del trabajo, gestión de la calidad y mercadotecnia. Actualmente, investiga las capacidades tecnológicas en la producción de muebles en Cuba.

ALEXEY MEGNA ALICIO

Doctor en Ciencias Pedagógicas, magíster en Ciencias de la Educación y licenciado en Física. Profesor titular de Ingeniería Industrial y Turismo en la Universidad de Las Tunas. Especialista en gestión organizacional, turismo, gestión de empresas en los servicios y la producción. Estudiante de la maestría en Gestión de la Tecnología en la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente, investiga la gestión de plataformas tecnológicas en el agroturismo en Cuba.

GRACIELA LARA GÓMEZ

Posee un doctorado en Estudios Organizacionales por la Universidad Autónoma Metropolitana y otro en Economía Social por la Universitat de Valencia. Magíster en Impuestos y Derecho Fiscal por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Es contadora pública. Durante 32 años, ha sido profesora investigadora en la UAQ y se ha enfocado en temas de economía social. Es autora y coautora de libros y artículos internacionales, líder del cuerpo académico "Organización y Desarrollo", y participa en redes de investigación a nivel nacional e internacional. Reconocida por el Sistema Nacional de Investigadores (CONACYT) y distinguida con premios como el "Arturo Elizundia Charles" de la ANFECA y el segundo lugar en el Premio Ciriec por ser parte de las mejores investigaciones en economía social.

LUIS RODRIGO VALENCIA PÉREZ

Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación por el Instituto Tecnológico Monterrey campus Monterrey, con maestría en Ciencias en Sistemas de Información. Es ingeniero industrial y de sistemas por el Instituto Tecnológico de Monterrey campus Querétaro. Cuenta con experiencia docente desde 1981 en diversas instituciones, además de amplia trayectoria en el sector empresarial y se ha destacado en roles en la industria automotriz, metalmecánica, confección y desarrollo de *software*. Ha sido director y dueño de varias empresas, incluyendo a Consultoría en Ingeniería Industrial y Comunicaciones Digitales. Asesor en implementación de sistemas integrados ERP, *e-commerce* e *e-business*, así como en automatización y gestión de calidad. Especializado en áreas como ingeniería de métodos, sistemas y comunicación industrial, con amplia experiencia en proyectos de arranque y mejora continua en empresas de diversos sectores.



UNIVERSIDAD
DE LIMA