

From disruption to transformation: strengthening operational resilience in the industry of the future: RSL

Magallanes Real, Victor ; Salazar Bernal, Gilmar ²; Carmen L. Cuba³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Perú.

U21307098@utp.edu.pe, U19311342@utp.edu.pe, C20369@utp.edu.pe

Abstract– *The current landscape of Industry 4.0/5.0 is characterized by constant high-impact disruptions, making operational resilience an essential strategic focus. In this context, the work addresses the critical need for organizations not only to withstand these changes, but also to capitalize on these events to generate systemic transformation with the central objective of understanding in depth how companies can adapt and respond effectively to situations of disruption. To this end, a search methodology with inclusion and exclusion criteria was applied to select the most relevant articles. The review shows that many organizations still have difficulty reacting to sudden changes, such as those generated by the pandemic or supply chain disruptions. However, practices that contribute to strengthening their response capacity were also identified. These include continuous process improvement, the integration of 4.0 technologies, and the promotion of more flexible and agile organizational cultures. In conclusion, operational resilience not only helps companies overcome times of crisis, but also opens up the possibility of transforming them into opportunities to innovate and evolve toward models that are better prepared for the future. This process is key to ensuring their long-term competitiveness and sustainability.*

Keywords: *Operational Resilience, Industry 4.0/5.0, Technological Disruption, Artificial Intelligence, Adaptation*

De la disrupción a la transformación: fortaleciendo la resiliencia operativa en la industria del futuro: RSL

Magallanes Real, Victor ; Salazar Bernal, Gilmar ²; Carmen L. Cuba³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Perú.

U21307098@utp.edu.pe, U19311342@utp.edu.pe, C20369@utp.edu.pe

Resumen— El actual panorama de la Industria del Futuro (4.0/5.0) se caracteriza por una acción constante de disrupciones de alto impacto, lo que establece la resiliencia operativa como un eje estratégico ineludible. En este contexto, el trabajo aborda la necesidad crítica de que las organizaciones no solo resistan a estos cambios, sino que capitalicen estos eventos para generar una transformación sistémica con el objetivo central de entender a profundidad cómo las empresas pueden adaptarse y responder eficazmente ante situaciones de disrupción. Para ello, se aplicó una metodología de búsqueda con criterios de inclusión y exclusión que permitió seleccionar los artículos más relevantes. La revisión muestra que muchas organizaciones aún tienen dificultades para reaccionar frente a cambios bruscos, como los generados por la pandemia o por interrupciones en las cadenas de suministro. Sin embargo, también se identificaron prácticas que contribuyen a fortalecer su capacidad de respuesta. Entre ellas destacan la mejora continua de procesos, la integración de tecnologías 4.0 y el impulso de culturas organizacionales más flexibles y ágiles. En conclusión, la resiliencia operativa no solo ayuda a las empresas a superar momentos de crisis, sino que también abre la posibilidad de transformarlas en oportunidades para innovar y evolucionar hacia modelos más preparados para el futuro. Este proceso resulta clave para asegurar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: Resiliencia Operativa, Industria 4.0/5.0, Disrupción Tecnológica, Inteligencia Artificial, Adaptación

I. INTRODUCCIÓN

El interés por la resiliencia operativa en la Industria 4.0 ha ido aumentando en los últimos diez años, impulsado por interrupciones en las cadenas de suministro, tensiones geopolíticas y la pandemia de COVID-19 [1]. Se entiende este concepto como la habilidad que tienen los sistemas productivos para resistir, prever y recuperarse ante alteraciones, asegurando así que las operaciones sigan funcionando [2]. La implementación de tecnologías como el mantenimiento predictivo, los gemelos digitales, la inteligencia artificial (IA) y el internet de las cosas (IoT) ha modificado los procesos industriales, lo que ha permitido una mejor capacidad para adaptarse [3]. Asimismo, estrategias que refuerzan la resiliencia y la sostenibilidad, como los modelos de economía circular, la digitalización del diseño a través de BIM y la producción colaborativa, se han establecido firmemente [4]. La adopción de soluciones digitales más resilientes se aceleró en la industria química y el sector de la moda, como lo demuestran las crisis recientes que revelaron debilidades [5] [6].

En este contexto, la resiliencia no se restringe únicamente a la reacción frente a crisis, sino que también funciona como un motor de cambio hacia la competitividad y la sostenibilidad en la transición de la Industria 4.0 a la 5.0 [7].

Aunque se han hecho estos progresos, en la bibliografía acerca de cómo incorporar eficazmente estas tecnologías en el desarrollo de resiliencia organizacional, sigue habiendo grandes vacíos [8]. No obstante, investigaciones acerca de la incorporación de BIM y gemelos digitales en proyectos de construcción indican que estas herramientas no solo posibilitan una mejor planificación de los recursos, sino que además incrementan la habilidad para reaccionar frente a sobrecostos y demoras [9]. Del mismo modo, los estudios que examinan cómo la inteligencia artificial se integra en la administración de la cadena de suministro muestran un aumento en la optimización del inventario y en la predicción de riesgos logísticos, lo cual fortalece las operaciones [10]. Asimismo, las investigaciones acerca de la adopción de tecnologías emergentes para manejar los riesgos en ambientes de fabricación digital indican que, a pesar de su gran potencial, todavía existen obstáculos vinculados con la compatibilidad y la madurez tecnológica que restringen su uso [11]. Por otra parte, persisten desacuerdos entre los autores: algunos afirman que la digitalización es un catalizador directo de la resiliencia, ya que mejora la visibilidad en tiempo real y la capacidad de reacción ante interrupciones mediante tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) y la automatización inteligente [12]. Sin embargo, otros destacan limitaciones importantes, como la carencia de infraestructura digital en pequeñas y medianas empresas, los altos costos de implementación de sistemas avanzados y la escasez de personal con competencias especializadas en análisis de datos y ciberseguridad, factores que frenan su progreso [13]. A su vez, el cambio hacia la Industria 5.0, caracterizada por la integración de inteligencia artificial colaborativa y manufactura centrada en el ser humano, ha generado debate sobre si representa una evolución natural de la Industria 4.0, un modelo híbrido o una fase de coexistencia entre ambas partes [14]. Finalmente, muchas revisiones previas han privilegiado sectores o tecnologías específicas, entre ellas se encuentran los estudios enfocados en la industria de la moda o en la producción química sostenible lo que ha limitado una comprensión sistemática acerca de la resiliencia operativa [15].

II. METODOLOGÍA

Ante esta situación, resulta pertinente realizar una revisión sistemática que permita consolidar el conocimiento descentralizado sobre resiliencia operativa y su papel en la transformación digital de la industria [16]. Esta revisión busca organizar una extensa colección de literatura que cubra áreas como la gestión de riesgos, los modelos de economía circular, la logística digitalizada, la manufactura inteligente y la construcción usando BIM [17]. Los resultados ayudarán a los investigadores que intentan entender cómo se pasa a la Industria 5.0, un modelo que favorece la cooperación entre humanos y sistemas inteligentes, fomentando patrones de producción más personalizados y sostenibles [18]. Además, contribuirán a los encargados de las políticas públicas, que requieren formular planes de continuidad y resiliencia en contextos inciertos, como los causados por crisis sanitarias, conflictos geopolíticos o interrupciones en las cadenas globales de abastecimiento [19]. Finalmente, los hallazgos son relevantes para las empresas que enfrentan el reto de equilibrar productividad con sostenibilidad, pues la presión por mantener la eficiencia operativa se combina cada vez más con la necesidad de reducir emisiones, adoptar energías limpias y cumplir con normativas ambientales más estrictas [20]. Por lo tanto, esta revisión sistemática se propone como una contribución esencial para informar sobre las tendencias contemporáneas y orientar el reforzamiento de la resiliencia operativa en la industria del futuro.

El objetivo de esta revisión es entender y representar la situación actual del conocimiento acerca de la resiliencia operacional en el marco de la transformación digital del sector industrial. Por ende, el propósito de este documento es identificar, examinar y clasificar las estrategias fundamentales en términos tecnológicos, organizacionales y sostenibles que se han propuesto para robustecer la resiliencia operativa frente a disrupciones. Esto incluye enfoques tanto tradicionales como innovadores y tiene como objetivo brindar una visión crítica y estructurada de las soluciones reportadas en la literatura, lo que contribuye a comprender el papel de estas prácticas en la transición hacia la Industria 5.0.

En este sentido, el documento está estructurado de la forma siguiente. La metodología, que está en la sección 2, explica el método usado para realizar la revisión sistemática de la literatura (RSL), lo que incluye las preguntas de investigación, los criterios de inclusión y exclusión, las bases de datos consultadas y cómo se analizan los estudios elegidos. La sección 3, Resultados, muestra y clasifica los descubrimientos realizados, dispuestos de acuerdo con las tecnologías, tácticas organizacionales y modelos sostenibles que se implementaron para reforzar la resiliencia operativa en una variedad de sectores industriales. En la sección 4, titulada Conclusiones, se sintetizan las contribuciones fundamentales del estudio y sus restricciones, además de sugerir líneas futuras de investigación que busquen establecer perspectivas resilientes, adaptables y sustentables para la industria del futuro

Con el rápido progreso de la disrupción tecnológica, varias industrias se enfrentan al reto de adaptarse con rapidez para conservar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo. En este marco, la resiliencia operativa se ha convertido en un elemento crucial para las industrias del futuro. No obstante, surge una pregunta crucial: ¿Qué intervenciones tienen la capacidad de robustecer la resiliencia operativa de las industrias del futuro en contraposición a los métodos tradicionales para optimizar la sostenibilidad y eficiencia? ¿De qué manera incide la disrupción tecnológica en esta misma resiliencia? Para responder a esta pregunta, se requiere un análisis detallado que posibilite determinar las áreas más críticas y las posibles soluciones. Por esta razón, hemos optado por emplear el marco PICO para dirigir la investigación y centrar los aspectos fundamentales. El análisis examina la manera en que tecnologías como el Internet de las cosas, la inteligencia artificial y la automatización afectan a la resiliencia operativa, que es la habilidad de una organización para reaccionar y adaptarse efectivamente frente a sucesos sorpresivos. La investigación compara estrategias tradicionales de resiliencia basadas en la gestión de riesgos y flexibilidad organizacional con enfoques innovadores que integran tecnología para mejorar la eficiencia, reducir riesgos, fomentar la sostenibilidad y fortalecer la adaptabilidad. El objetivo central es comprender si estos enfoques tecnológicos realmente fortalecen la resiliencia operativa frente a los desafíos actuales.

A continuación, se presenta las preguntas de los requerimientos PICO.

- P: RQ1→ ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta la industria del futuro en términos de resiliencia operativa debido a la disrupción tecnológica y los cambios acelerados en los modelos de negocio?
- I: RQ2→ ¿Qué medidas específicas (tecnológicas, organizacionales o estratégicas) son más efectivas para mejorar la resiliencia operativa en las industrias del futuro frente a la disrupción tecnológica?
- C: RQ3→ ¿Cómo se comparan las estrategias de resiliencia operativa tradicional con las innovadoras y adaptativas para enfrentar la disrupción en la industria del futuro?
- O: RQ4→ ¿Qué resultados clave evidencian una mejora en la resiliencia operativa de la industria del futuro, como eficiencia, reducción de riesgos y sostenibilidad?

TABLA I.
 PALABRAS CLAVE SELECCIONADAS PARA EL PICO

P- PROBLEMA	¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta la industria del futuro en términos de resiliencia operativa debido a la disrupción tecnológica y los cambios acelerados en los modelos de negocio?
I- INTERVENCIÓN	¿Qué medidas específicas (tecnológicas, organizacionales o estratégicas) son más efectivas para mejorar la resiliencia operativa en las industrias del futuro frente a la disrupción?
C- COMPARACIÓN	¿Cómo se comparan las estrategias de resiliencia operativa tradicional con las innovadoras y adaptativas para enfrentar la disrupción en la industria del futuro?
O- RESULTADOS	¿Qué resultados clave evidencian una mejora en la resiliencia operativa de la industria del futuro, como eficiencia, reducción de riesgos y sostenibilidad?

Fuente: Elaboración propia

Con la seguridad de garantizar la validez y coherencia de esta Revisión Sistemática de Literatura, se establecieron criterios de inclusión y exclusión que permitieron seleccionar únicamente los estudios pertinentes. En donde estos criterios se definieron en función al tema central de la investigación, el tiempo considerado, el idioma de publicación y la relevancia de los artículos respecto a la resiliencia operativa en la industria del futuro.

Criterios de Inclusión (CI)

CI1: Estudios sobre la respuesta industrial ante disrupciones o crisis.

CI2: Investigación sobre el impacto de tecnologías disruptivas (IA, IoT, automatización, digitalización).

CI3: Artículos que analizan la resiliencia operativa con enfoques cuantitativos, cualitativos o mixtos.

CI4: Comparación de estrategias tradicionales e innovadoras de resiliencia industrial.

Criterios de Exclusión (CE)

CE1: Artículos que no aborden la resiliencia operativa o industria del futuro.

CE2: Estudios en sectores no industriales (ej., salud, educación).

CE3: Documentos diferentes a Artículos, revistas o conferencias.

CE4: Idioma diferente al inglés o español.

MOTOR DE BUSQUEDA – SCOPUS:

(TITLE-ABS-KEY (("Technological disruption" OR "Operational resilience" OR "Industries of the future" OR "Transformation" OR "Traditional strategies" OR "Efficiency"

OR "Sustainability")) AND TITLE-ABS-KEY (("Industrial challenges" OR "Industry of the future" OR "Operational resilience" OR "Technological disruption" OR "Business models" OR "Rapid change")) AND ALL (("Technological interventions" OR "Organizational interventions" OR "Strategic interventions" OR "Operational resilience" OR "Industries of the future" OR "Technological disruption")) AND ALL (("Operational resilience strategies" OR "Traditional operational resilience" OR "Innovative operational resilience" OR "Adaptive operational resilience" OR "Technological disruption" OR "Industry of the future")) AND TITLE-ABS-KEY (("Operational resilience results" OR "Improved operational resilience" OR "Operational efficiency" OR "Risk reduction" OR "Increased sustainability" OR "Industries of the future")))

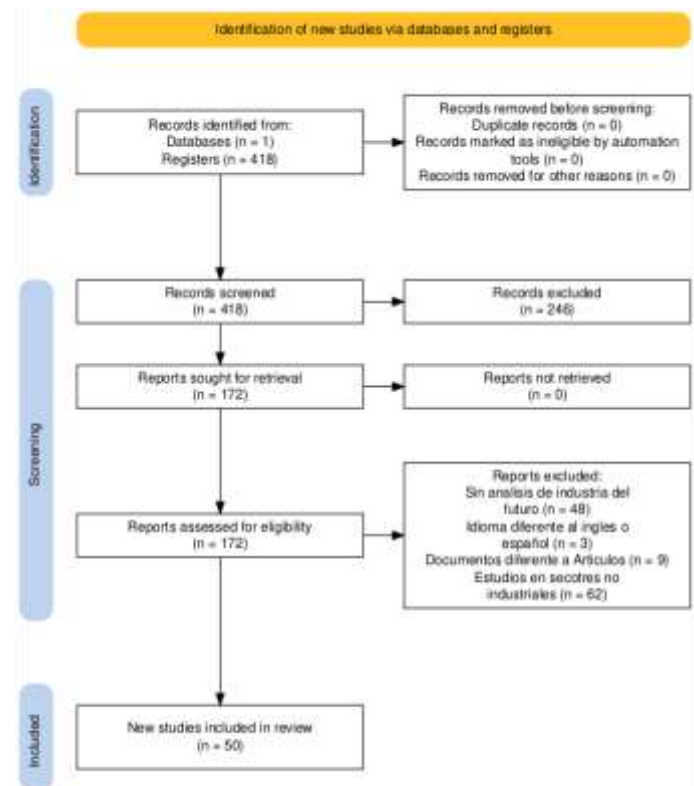


Figura 1. Diagrama PRISMA.

Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

El proceso de selección de artículos para esta investigación implicó un análisis riguroso de diversas bases de datos científicas, lo que resultó en la identificación de 50 estudios relevantes, centrados en la resiliencia operativa dentro del contexto de la transformación digital industrial. Estos trabajos abordan desde perspectivas tecnológicas, organizacionales y estratégicas, el papel de herramientas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y modelos de economía circular en el fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante disrupciones. En la fig. 2, el 15% correspondiente a la adaptabilidad en la gráfica se interpreta como un

reconocimiento al papel que desempeña esta capacidad, que emerge como una habilidad organizacional clave para ajustar procesos y modelos actuales, como son la robótica, la impresión 3D y la realidad aumentada. La adaptabilidad no solo permite reaccionar ante el cambio, sino también anticiparse y evolucionar de forma proactiva frente a los desafíos [21]. El 11% asignado a la eficiencia dentro de la gráfica refleja su importancia como resultado directo de estrategias que permiten optimizar recursos y reducir el impacto ambiental. Según la revisión sistemática analizada, la implementación de soluciones avanzadas como inteligencia artificial, blockchain y gemelos digitales ha demostrado un potencial concreto para reducir el consumo energético en un 30% y disminuir el desperdicio de materiales en un 20%, lo que representa una mejora significativa en la sostenibilidad operativa. Este porcentaje se puede entender si, aunque la eficiencia es un objetivo evidente dentro de los procesos sostenibles, muchas veces funciona como una consecuencia derivada para la industria futura. En este contexto, su representación gráfica menciona su función dentro de las estrategias estudiadas, manteniendo una presencia importante sin ser predominante [22].

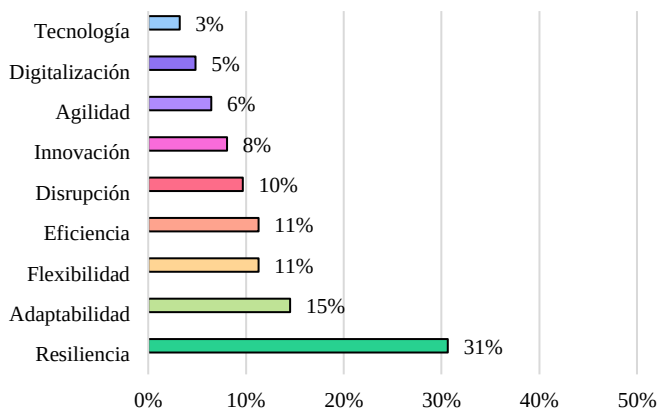


Fig.2. Estrategias para Mejorar Eficiencia y Sostenibilidad frente a Métodos Tradicionales
Fuente: Elaboración propia

La Fig 3. actual muestra que la adaptabilidad constituye el 22% de los desafíos más importantes que afronta la industria futura, lo cual se debe en gran parte a la rápida evolución tecnológica propia de la llamada Industria 4.0. Esto requiere que las empresas tengan una capacidad permanente para ajustarse a cambios complejos, veloces y multifactoriales. [23]. Por esta razón, la capacidad de adaptarse se establece como una competencia estratégica esencial para garantizar que las organizaciones sigan siendo relevantes y continúen en un entorno cada vez más exigente y cambiante. Pese a que la digitalización tiene un efecto más restringido (3%), es esencial, porque se trata de una herramienta clave para la adaptación, pues posibilita la automatización de procedimientos y mejora el onsumo energético. Como se indica en el análisis acerca de la eficiencia energética, para sobrepasar los obstáculos financieros

y tecnológicos y hacer más fácil el tránsito hacia modelos industriales más sostenibles, es crucial implementar tecnologías digitales [24].

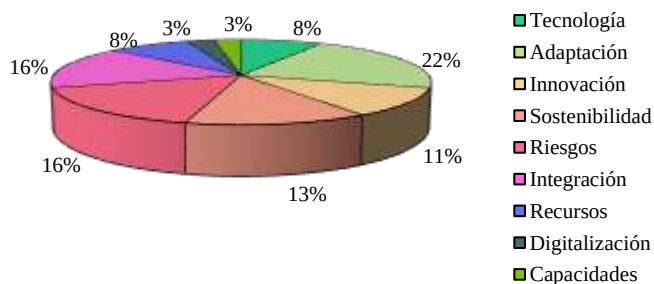


Fig 3. Los Principales Desafíos que enfrenta la Industria del Futuro
Fuente: Elaboración propia

Según se aprecia en la fig 4. el IoT representa un 13% entre las medidas concretas para optimizar la resiliencia operativa ante la disrupción. Como resalta el artículo examinado, el Internet de las Cosas funciona como un factor de transformación que tiene la capacidad de modificar radicalmente tanto a las organizaciones modernas como a las tradicionales, facilitando una gestión más eficiente de los datos y optimizando el proceso de toma de decisiones y la eficiencia operativa. [25]. Desde este punto de vista, el IoT no solo optimiza el rendimiento de la organización, sino que además potencia su capacidad para responder a situaciones de crisis, lo cual respalda su consideración como una estrategia para robustecer la resiliencia operativa. A pesar de ser el 5% más bajo, la innovación sigue siendo una medida clave para mejorar la resiliencia operativa, ya que la capacidad de adaptarse e incorporar nuevas tecnologías es fundamental para la flexibilidad y la eficiencia operativa en entornos disruptivos. Un estudio basado en la teoría de la información orientada a la toma de decisiones (DOI) y el marco TOE (orientado a la tecnología) muestra cómo la integración de IA en la cadena de suministro digital permite a las empresas mejorar su eficiencia operativa mediante la robótica y la automatización. [26].

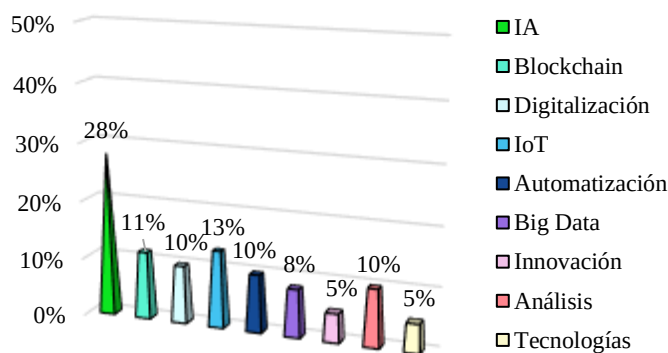


Fig 4. Medidas específicas para mejorar la resiliencia operativa frente a la disrupción
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo que se muestra en la fig 5, la estrategia tradicional tiene una representación del 32%, gracias a su fuerte presencia histórica y a su permanencia en sectores, sobre todo aquellos que tienen estructuras más conservadoras o un acceso más limitado a las innovaciones tecnológicas. Si bien el estudio propone marcos tecnológicos para mejorar la sostenibilidad operativa, también pone de relieve que gran parte de la investigación y aplicación de estas tecnologías se concentra en países desarrollados, lo que sugiere que, en muchas otras realidades, las estrategias tradicionales continúan siendo la base de la resiliencia operativa. lo que refleja que muchas organizaciones aún dependen de enfoques convencionales frente a situaciones disruptivas [27]. En particular, las tecnologías emergentes como el Digital Twin (DT) tienen el potencial de revolucionar la resiliencia operativa, tal como se muestra en estudios recientes sobre gestión urbana. Las DT permiten supervisar, controlar y predecir el comportamiento de sistemas y procesos complejos, ayudando a las organizaciones a adaptarse rápidamente a cambios globales. [28].

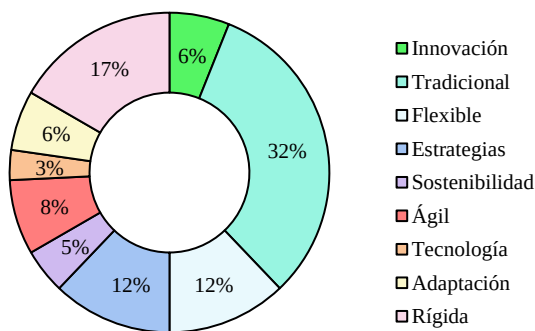


Fig 5. Comparación de estrategias de resiliencia operativa en la industria del futuro
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de la fig. 6, el 8% atribuido a la reducción de costos como resultado clave que evidencia una mejora en la industria del futuro está respaldado por el potencial de ciertas tecnologías emergentes para generar eficiencias económicas sostenibles. El artículo analizado destaca que la tecnología blockchain, nos ayuda a la verificación, preservación y sincronización de datos de manera descentralizada, proporcionando ventajas económicas y significativas para varios sectores, entre ellos el manufacturero. Se destacan entre estas ventajas una mayor eficiencia operativa, menos intermediarios y un procesamiento de transacciones más eficaz, lo que conlleva una disminución en los costos logísticos y administrativos [29]. Aunque la productividad tiene el porcentaje más pequeño, con un 5%, es relevante mencionarla porque hace referencia a la habilidad de las empresas para optimizar su eficiencia operativa, aun en épocas de crisis. Por ejemplo, la fragilidad de los sistemas energéticos convencionales fue expuesta por la pandemia de COVID-19, lo que incrementó el conocimiento acerca de la eficiencia

energética y la urgencia de implementar tecnologías que hagan más eficiente el uso de los recursos. Se ha demostrado que la transición hacia una eficiencia energética más inteligente, impulsada por tecnologías innovadoras, puede no solo reducir el impacto ambiental sino también mejorar la resiliencia operativa en un futuro post-COVID, facilitando una recuperación más rápida y sostenible de las disrupciones [30].

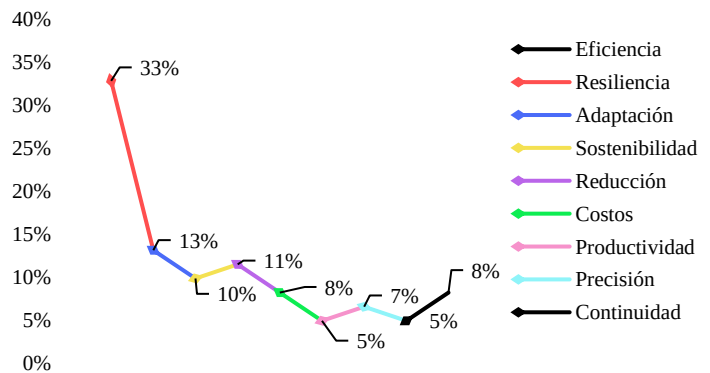


Fig 6. Resultados claves que evidencian una mejora en la industria del futuro
Fuente: Elaboración propia

En la fig 7 se observa que el análisis de datos entre los métodos examinados para robustecer la resiliencia operativa, que equivale al 16%, refleja una importancia creciente en ambientes organizativos complejos que requieren respuestas rápidas y exactas frente a contextos cambiantes. El artículo analizado resalta que, en el ámbito de la salud, el análisis avanzado de datos a través de algoritmos de aprendizaje automático posibilita que los hospitales mejoren la administración de información, tomen mejores decisiones clínicas y ajusten sus servicios a las necesidades emergentes. El procesar cantidades significativas de datos, como imágenes diagnósticas e historiales médicos, no solo mejora la eficiencia de la atención, sino que además potencia la habilidad del sistema para prever riesgos y reaccionar proactivamente en circunstancias difíciles [31]. El 14% de los sistemas como método para robustecer la resiliencia operativa muestra que es necesario tener estructuras organizadas que posibiliten el manejo de la complejidad e incertidumbre vinculadas a procesos de cambio en las organizaciones. El estudio de este artículo muestra que el hecho de no tener una metodología sistemática para evaluar riesgos es uno de los obstáculos más grandes para adoptar la Industria 4.0, lo cual puede poner en peligro la implementación y la sostenibilidad de los cambios [32]. De esta manera, la presencia de sistemas de evaluación y monitoreo no solamente aumenta la habilidad para prever acontecimientos disruptivos, sino que también robustece la resiliencia operativa al ofrecer instrumentos prácticos para ajustarse y reaccionar con más eficiencia frente a situaciones de gran incertidumbre.

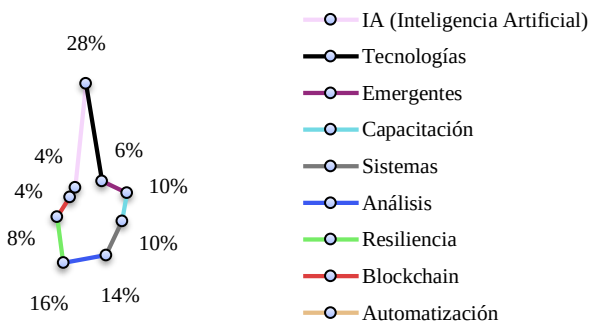


Fig 7. Métodos que fueron analizados en el estudio para fortalecer la resiliencia operativa
Fuente: Elaboración propia

La inteligencia artificial se posiciona como la solución principal para aumentar la resiliencia operativa, tal como muestra la figura 8, lo cual evidencia su importancia en la optimización de procesos, el manejo de riesgos y la toma de decisiones en contextos industriales digitalizados. El artículo analizado trata sobre cómo la digitalización en la producción, que engloba el empleo de herramientas digitales, automatización y análisis de datos, no solo posibilita a las organizaciones incrementar su productividad y eficiencia, sino también prever, atenuar y transformar los riesgos en oportunidades [33]. La IA se establece, por lo tanto, como una solución integral que fortalece la resiliencia operativa al posibilitar una respuesta más rápida, informada y proactiva frente a situaciones cambiantes. El 22% que se refiere a la automatización como solución para el mejoramiento de la resiliencia operativa es justificable debido a su comprobada habilidad para perfeccionar procedimientos, disminuir los errores humanos y optimizar la eficiencia operativa en ambientes empresariales cada vez más complejos. Según se destaca en el artículo revisado, la convergencia tecnológica (que incluye la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas) posibilita que las organizaciones automaticen tareas fundamentales, lo cual conduce a una mayor productividad y sostenibilidad [34].

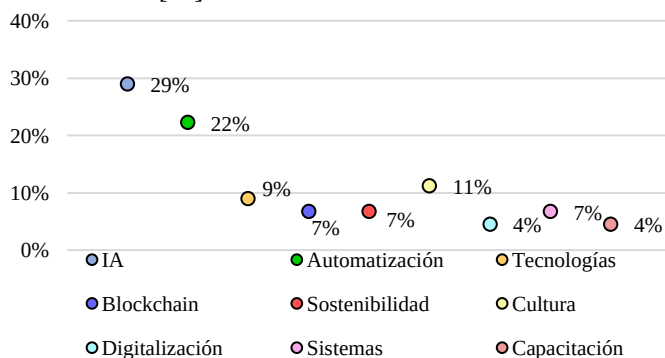


Fig 8. Soluciones que fueron propuestas para mejorar la resiliencia operativa
Fuente: Elaboración propia

El 22% correspondiente a la cadena de suministro en la figura 9 titulada “Definiciones de resiliencia operativa que no fueron tomadas en cuenta en algunos sectores” evidencia una omisión crítica en la manera de que los sectores conciben la resiliencia. Como se indica en el artículo analizado, ramas como la de la salud han empezado a incorporar tecnologías específicas de la Industria 4.0 y principios de la economía circular; sin embargo, frecuentemente no integran completamente el concepto de cadenas de suministro sostenibles dentro de su estrategia de resiliencia operativa [35]. Por ende, el que esta dimensión no esté incluida en ciertos sectores es una razón para que en el gráfico se represente como un 22%, lo cual subraya la importancia de redefinir la resiliencia operativa con una visión más global y sostenible. De acuerdo con lo que se menciona en el artículo revisado, la Industria 5.0 destaca no solo la incorporación de tecnologías avanzadas, sino también la importancia de equilibrar los avances enfocado en las personas y la sostenibilidad. Por lo tanto, el hecho de que algunos sectores no cuenten con esta perspectiva justifica que en la gráfica se represente un 21% de ellos, lo que indica la necesidad de redefinir la resiliencia operativa bajo criterios más sostenibles [36].

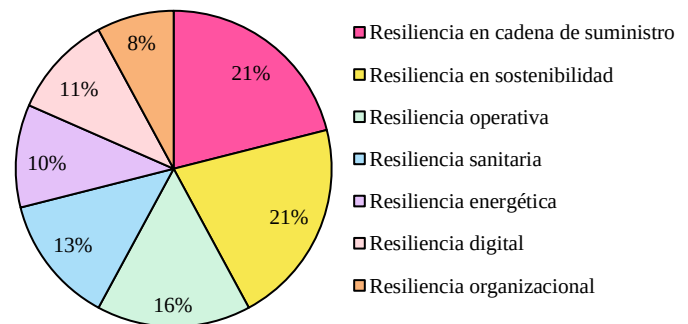


Fig 9. Definiciones de resiliencia operativa que no fueron tomadas en cuenta en algunos sectores
Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

La resiliencia, que tiene un 31 %, es el elemento más destacado en la fig 2. Esto evidencia que una buena parte de los estudios da prioridad a la habilidad de las industrias para sobrellevar y recuperarse frente a disrupciones, lo que confirma su papel como el enfoque integrador de la digitalización. Este descubrimiento está de acuerdo con lo que propuso Islam et al. (2025), quienes sostienen que la resiliencia es el punto de alianza entre la tecnología y la colaboración humano-máquina, punto clave para lograr la sostenibilidad y estabilidad en la Industria 5.0 [37]. En comparación, la tecnología, con solo un 3 %, aparece como el factor menos explorado de forma aislada, lo que sugiere que su valor real radica en cómo se integra dentro de sistemas más amplios de gestión industrial [38].

La adaptación, con un 22%, es lo que más destaca en la figura 3, lo que enfatiza la importancia de adaptarse a las transformaciones en el entorno regulatorio, tecnológico y

medioambiental. Este enfoque enfatiza que, en contextos volátiles, la capacidad de respuesta flexible es un indicador fundamental de resiliencia. Esto coincide con lo que señala la revisión sobre fabricación sostenible, según la cual adaptarse a los cambios digitales es crucial para mantener la competitividad [39]. Por otra parte, la digitalización muestra que un número significativo de organizaciones todavía tienen problemas para utilizar eficazmente las herramientas digitales, con un porcentaje de solo el 3 %, lo cual restringe el alcance de su transformación [40].

En la fig. 4, la inteligencia artificial (IA) encabeza la lista con un 28 %, lo que corrobora su rol como tecnología predominante para robustecer la resiliencia operacional a través de la automatización y el análisis predictivo. La IA es vista como un soporte esencial para la detección temprana de fallos y para la toma de decisiones industriales, como lo indican Islam y Khan (2022) al señalar la sinergia entre IoT e IA como un agente que impulsa la eficiencia organizacional [41]. En contraste, con un 5%, la innovación se mantiene en una posición baja, lo que indica que el desarrollo de nuevas soluciones todavía no cuenta con el mismo estímulo que la implementación de tecnologías ya existentes [42].

En la fig. 5, la estrategia tradicional se encuentra en primer lugar con un 32 %, lo que señala que muchas compañías persisten en utilizar modelos de gestión convencionales debido a su confiabilidad y escaso riesgo, aunque la digitalización avanza. Este resultado muestra que hay una preferencia por conservar los procesos mientras se valoran de manera gradual las tecnologías emergentes, lo cual coincide con la literatura sobre transformación digital, que define la adopción tecnológica como un avance paulatino. [38]. En cambio, la tecnología, con solo un 3 %, se mantiene atrasada, mostrando que la modernización aún no se ha traducido completamente en cambios estructurales dentro de las organizaciones [43].

La fig. 6 demuestra que la resiliencia vuelve a estar en primer lugar con un 33 %, lo que confirma su importancia como un indicador fundamental de la productividad sostenible en la industria. Este protagonismo muestra un cambio de concepto que ya no persigue únicamente la eficacia en la producción, sino también la habilidad de adaptarse y resistir a circunstancias inestables [39]. En contraste, la productividad, con apenas un 5 %, pierde importancia frente a la sostenibilidad, lo que revela un viraje hacia modelos donde la continuidad y la estabilidad a largo plazo son más valoradas que el rendimiento inmediato [44].

La inteligencia artificial, con un 28 %, vuelve a sobresalir en la fig.7, afianzándose como el instrumento de uso más frecuente para el mantenimiento predictivo y la gestión de riesgos. Este enfoque demuestra que la IA se ha convertido en un recurso estratégico para anticipar disrupciones y fortalecer la capacidad operativa, tal como indica la revisión sobre colaboración humano-máquina [45]. Sin embargo, la automatización tradicional, que solo representa un 6 %, se queda atrás; esto demuestra que las compañías están optando por soluciones inteligentes que van más allá de lo que el proceso manual permite [46].

La fig. 8 indica que la inteligencia artificial vuelve a liderar con un 29%, resaltando su rol principal en la optimización de procesos y en el mantenimiento operativo. Este resultado muestra que la automatización inteligente es considerada como un medio directo para robustecer la capacidad de recuperación, siempre y cuando haya una integración humana apropiada [47]. Sin embargo, la capacitación, con solamente un 4 %, sigue siendo el elemento menos usado, lo cual pone de manifiesto una diferencia relevante entre la adopción tecnológica y la adquisición de competencias humanas. Esta falta de formación limita el uso completo de la IA, pues si estas herramientas no se emplean correctamente, su potencial innovador disminuye, lo que impacta directamente en la resiliencia organizacional [48].

Finalmente, en la figura 9, las resiliencias de la cadena de suministro y en sostenibilidad sobresalen con un 21 % cada una, mostrando que estas dimensiones son las más valoradas en contextos industriales recientes. Este énfasis concuerda con el análisis bibliométrico sobre vulnerabilidades logísticas que propone estrategias de resiliencia integradas para sectores críticos como el automotriz [49]. En contraste, la resiliencia organizacional muestra una atención reducida a la administración interna de las empresas, con solo un 8%, lo cual es esencial para fortalecer la habilidad de respuesta ante cualquier crisis. Como indican Ramírez et al. (2024), las estructuras organizacionales resilientes son necesarias para ajustar los sistemas de producción a contextos inciertos e impulsar la sostenibilidad de las empresas [50].

V. CONCLUSIÓN

La meta de esta Revisión Sistemática de Literatura tuvo como propósito determinar, examinar y categorizar las estrategias más importantes en términos tecnológicos, organizacionales y sostenibles que refuercen la resiliencia operacional en la industria venidera. El análisis de cincuenta investigaciones publicadas entre 2020 y 2025 mostró que la resiliencia operativa es clave para asegurar la continuidad, la sostenibilidad y la competitividad en entornos industriales que se vuelven cada vez más disruptivos. Los hallazgos muestran que la integración de tecnologías como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la automatización y los gemelos digitales representa el camino más prometedor para mejorar la adaptabilidad, la eficiencia y la gestión del riesgo. Además, se nota que las estrategias tradicionales todavía tienen una presencia importante, sobre todo en áreas con menor madurez tecnológica, lo cual demuestra un paso progresivo hacia perspectivas híbridas donde la tecnología apoya, pero no reemplaza la experiencia organizacional.

El aporte fundamental de esta RSL es brindar una perspectiva actualizada y organizada del rol que desempeña la resiliencia operativa en el proceso de transformación digital industrial, resaltando su relevancia como conexión entre innovación, rendimiento competitivo y sostenibilidad. Esta investigación ofrece un resumen crítico que ayuda a entender cómo la transición de la Industria 4.0 a la 5.0 está creando nuevos modelos de producción más adaptativos y centrados en el ser humano.

No obstante, a pesar de los progresos detectados, la resiliencia operativa todavía encuentra obstáculos significativos en el ámbito industrial. Muchos estudios coinciden en que la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial, el internet de las cosas o los gemelos digitales se ve obstaculizada por la falta de infraestructura tecnológica, los altos costos de implementación y la escasez de personal capacitado para gestionar sistemas digitales complejos. Asimismo, existen diferencias considerables entre las grandes, pequeñas y medianas empresas, que a menudo no cuentan con los recursos necesarios para implementar soluciones de forma efectiva. Además, se debe aprovechar completamente el potencial innovador de las nuevas tecnologías, donde es imposible debido a que la gestión del talento humano y la digitalización que están poco conectadas. Estas restricciones demuestran que la resiliencia operativa no está solamente determinada por la tecnología, sino también por elementos culturales y organizacionales que todavía necesitan reforzarse para crear una industria verdaderamente sostenible y adaptable.

Para investigaciones futuras, se aconseja profundizar en estudios empíricos que midan el impacto cuantitativo de las tecnologías 4.0 y 5.0 sobre la resiliencia operativa, además de extender el análisis a sectores emergentes y áreas regionales menos estudiadas. Además, sería útil analizar la relación entre la resiliencia, la sostenibilidad y el talento humano, teniendo en cuenta que el desarrollo de capacidades digitales y la capacitación en habilidades adaptativas son elementos fundamentales para establecer una industria realmente sostenible y resiliente. En esta sección puede agradecer a las personas e instituciones que contribuyeron con el desarrollo del estudio.

VI. REFERENCES

- [1] M. Gallab, M. Di Nardo, and L. Naciri, "Navigating contemporary challenges and future prospects in digital industry evolution," *Deleted Journal*, vol. 6, no. 5, May 2024, doi: 10.1007/s42452-024-05913-2.
- [2] A. Agote-Garrido, A. M. Martín-Gómez, and J. R. Lama-Ruiz, "Resilience as a driver of industrial manufacturing systems," in *Advances in transdisciplinary engineering*, 2024, doi: 10.3233/atde241264.
- [3] J. Chen, C. P. Lim, K. H. Tan, K. Govindan, and A. Kumar, "Artificial intelligence-based human-centric decision support framework: an application to predictive maintenance in asset management under pandemic environments," *Annals of Operations Research*, Nov. 2021, doi: 10.1007/s10479-021-04373-w.
- [4] L. M. Camarinha-Matos, A. D. Rocha, and P. Graça, "Collaborative approaches in sustainable and resilient manufacturing," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 35, no. 2, pp. 499–519, Dec. 2022, doi: 10.1007/s10845-022-02060-6.
- [5] E. Bottani, M. T. B. Falcomer, and L. Monferdini, "Evolution of industry 4.0 in the fashion sector: A comparative analysis before and after COVID-19," *Procedia Computer Science*, vol. 253, pp. 2889–2898, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.02.013.
- [6] H. Abedsoltan, "COVID-19 and the chemical industry: impacts, challenges, and opportunities," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 98, no. 12, pp. 2789–2797, Oct. 2023, doi: 10.1002/jctb.7531.
- [7] M. Ghobakhloo, H. A. Mahdiraji, M. Iranmanesh, and V. Jafari-Sadeghi, "From Industry 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society: a Roadmap Toward Human-Centric, Sustainable, and Resilient Production," *Information Systems Frontiers*, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10796-024-10476-z.
- [8] E. Caillaud, V. Goepp, and L. Berrah, "Towards 'transformative' resilience for the sustainability of Industry 4.0," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 19, pp. 391–396, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.09.243.
- [9] S. Sepasgozar et al., "BIM and Digital Twin for Developing Convergence Technologies as Future of Digital Construction," *Buildings*, vol. 13, no. 2, p. 441, Feb. 2023, doi: 10.3390/buildings13020441.
- [10] A. Samuels, "Examining the integration of artificial intelligence in supply chain management from Industry 4.0 to 6.0: a systematic literature review," *Frontiers in Artificial Intelligence*, vol. 7, Jan. 2025, doi: 10.3389/frai.2024.1477044.
- [11] O. Rodríguez-Espíndola, S. Chowdhury, P. K. Dey, P. Albores, and A. Emrouznejad, "Analysis of the adoption of emergent technologies for risk management in the era of digital manufacturing," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 178, p. 121562, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121562.
- [12] J. Turek, B. Ocicka, W. Rogowski, and B. Jefmański, "The role of Industry 4.0 technologies in driving the financial importance of sustainability risk management," *Equilibrium Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, vol. 18, no. 4, pp. 1009–1044, Dec. 2023, doi: 10.24136/eq.2023.032.
- [13] C. Koldewey, D. Hobscheidt, C. Pierenkemper, A. Kühn, and R. Dumitrescu, "Increasing Firm Performance through Industry 4.0—A Method to Define and Reach Meaningful Goals," *Sci*, vol. 4, no. 4, p. 39, Oct. 2022, doi: 10.3390/sci4040039.
- [14] M. Golovianko, V. Terziyan, V. Branytskyi, and D. Malyk, "Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, Transition, or a Hybrid," *Procedia Computer Science*, vol. 217, pp. 102–113, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.206.
- [15] A. Rejeb, K. Rejeb, A. Appolloni, H. Treiblmaier, and M. Iranmanesh, "Circular Economy Research in the COVID-19 Era: a Review and the Road Ahead," *Circular Economy and Sustainability*, vol. 3, no. 4, pp. 2127–2157, Mar. 2023, doi: 10.1007/s43615-023-00265-2.
- [16] A. O. Inshakova, A. A. Sozinova, and T. N. Litvinova, "Corporate Fight against the COVID-19 Risks Based on Technologies of Industry 4.0 as a New Direction of Social Responsibility," *Risks*, vol. 9, no. 12, p. 212, Nov. 2021, doi: 10.3390/risks9120212.
- [17] A. A. M. A. Ragas, A. Chupin, M. Bolsunovskaya, A. Leksashov, S. Shirokova, and S. Senotrusova, "Accelerating sustainable and economic development via scientific project risk management model of industrial facilities," *Sustainability*, vol. 15, no. 17, p. 12942, Aug. 2023, doi: 10.3390/su151712942.
- [18] M. C. Tavares, G. Azevedo, and R. P. Marques, "The Challenges and Opportunities of ERA 5.0 for a More Humanistic and Sustainable Society—A Literature Review," *Societies*, vol. 12, no. 6, p. 149, Oct. 2022, doi: 10.3390/soc12060149.
- [19] S. Sengupta, H. C. Dreyer, and P. Jonsson, "Impact pathways: technology-aided supply chain planning for resilience," *International Journal of Operations & Production Management*, Jun. 2024, doi: 10.1108/ijopm-09-2023-0727.
- [20] N. Yasue, E. Mahmoodi, E. R. Zúñiga, and M. Fathi, "Analyzing resilient performance of workers with multiple disturbances in production systems," *Applied Ergonomics*, vol. 122, p. 104391, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.apergo.2024.104.
- [21] T. R. C. Konfo et al., "Recent climate-smart innovations in agrifood to enhance producer incomes through sustainable solutions," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 15, p. 100985, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.100985.
- [22] A. Setyadi, S. Soekotjo, S. D. Lestari, S. Pawirosumarto, and A. Damaris, "Trends and Opportunities in Sustainable Manufacturing: A Systematic Review of Key Dimensions from 2019 to 2024," *Sustainability*, vol. 17, no. 2, p. 789, Jan. 2025, doi: 10.3390/su17020789.
- [23] L. Patrício, L. Varela, and Z. Silveira, "Implementation of a sustainable framework for process optimization through the integration of robotic process automation and big data in the evolution of industry 4.0," *Processes*, vol. 13, no. 2, p. 536, Feb. 2025, doi: 10.3390/pr13020536.
- [24] M. Bera et al., "Advancing energy efficiency: innovative technologies and strategic measures for achieving net zero emissions," *Carbon Footprints*, vol. 4, no. 1, p. 3, Jan. 2025, doi: 10.20517/cf.2024.48.

- [25] H. Alloui and Y. Mourdi, "Exploring the full potentials of IoT for better financial growth and stability: a comprehensive survey," *Sensors*, vol. 23, no. 19, p. 8015, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23198015.
- [26] A.-A. A. Sharabati, H. Z. Awawdeh, S. Sabra, H. K. Shehadeh, M. Allahham, and A. Ali, "The role of artificial intelligence on digital supply chain in industrial companies mediating effect of operational efficiency," *Uncertain Supply Chain Management*, vol. 12, no. 3, pp. 1867–1878, Jan. 2024, doi: 10.5267/j.uscm.2024.2.016.
- [27] G. Soni, S. K. Mangla, P. Singh, B. L. Dey, and M. Dora, "Technological interventions in social business: Mapping current research and establishing future research agenda," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 169, p. 120818, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.120818.
- [28] L. Villani, L. Gugliemetti, M. A. Barucco, and F. Cinquepalmi, "A digital twin framework to improve urban sustainability and resiliency: The case study of Venice," *Land*, vol. 14, no. 1, p. 83, Jan. 2025, doi: 10.3390/land14010083.
- [29] O. Ali, A. Jaradat, A. Kulakli, and A. Abuhlimeh, "A comparative study: Blockchain Technology Utilization Benefits, challenges and Functionalities," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 12730–12749, Jan. 2021, doi: 10.1109/access.2021.3050241.
- [30] L. Gorina, E. Korneeva, O. Kovaleva, and W. Strielkowski, "Energy-saving technologies and energy efficiency in the post-COVID era," *Sustainable Development*, vol. 32, no. 5, pp. 5294–5310, Mar. 2024, doi: 10.1002/sd.2978.
- [31] M. Shahin, F. F. Chen, A. Hosseinzadeh, and M. Maghanaki, "Deploying deep convolutional neural network to the battle against cancer: Towards flexible healthcare systems," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 47, p. 101494, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.imu.2024.101494.
- [32] R. Gadekar, B. Sarkar, and A. Gadekar, "Key performance indicator based dynamic decision-making framework for sustainable Industry 4.0 implementation risks evaluation: reference to the Indian manufacturing industries," *Annals of Operations Research*, vol. 318, no. 1, pp. 189–249, Jul. 2022, doi: 10.1007/s10479-022-04828-8.
- [33] M. Borsato, S. Lattanzio, and L. Newnes, "On the Assessment of People-Related Opportunities in Digitalisation," in *Advances in transdisciplinary engineering*, 2024, doi: 10.3233/atde240934.
- [34] J. A. Barrera-Gómez and M. L. Flórez-Romero, "Convergencia tecnológica y productividad: una perspectiva sobre la innovación en emprendimientos transfronterizos," *Aibi Revista De Investigación Administración E Ingeniería*, vol. 12, no. 3, pp. 205–213, Sep. 2024, doi: 10.15649/2346030x.4401.
- [35] M. Javaid, A. Haleem, I. H. Khan, R. P. Singh, and A. A. Khan, "Industry 4.0 and circular economy for bolstering healthcare sector: A comprehensive view on challenges, implementation, and futuristic aspects," *Deleted Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 174–198, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.bioana.2024.06.001.
- [36] R. Alonso, T. F. Sánchez, D. A. Alfaro, Y. J. Cruz, A. Villalonga, and F. Castaño, "Automation and Robotics Pilot Lines in the Context of Industry 5.0," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 5, p. 2510, Feb. 2025, doi: 10.3390/app1505251.
- [37] M. T. Islam, K. Sepanloo, S. Woo, S. H. Woo, and Y.-J. Son, "A review of the industry 4.0 to 5.0 transition: exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and Human–Machine collaboration," *Machines*, vol. 13, no. 4, p. 267, Mar. 2025, doi: 10.3390/machines13040267.
- [38] C. Münch, E. Marx, L. Benz, E. Hartmann, and M. Matzner, "Capabilities of digital servitization: Evidence from the socio-technical systems theory," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 176, p. 121361, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121361.
- [39] A. Setyadi, S. Soekotjo, S. D. Lestari, S. Pawirosumarto, and A. Damaris, "Trends and Opportunities in Sustainable Manufacturing: A Systematic Review of Key Dimensions from 2019 to 2024," *Sustainability*, vol. 17, no. 2, p. 789, Jan. 2025, doi: 10.3390/su17020789.
- [40] T. R. C. Konfo et al., "Recent climate-smart innovations in agrifood to enhance producer incomes through sustainable solutions," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 15, p. 100985, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.100985.
- [41] J. I. Khan, J. Khan, F. Ali, F. Ullah, J. Bacha, and S. Lee, "Artificial Intelligence and Internet of Things (AI-IoT) Technologies in Response to COVID-19 Pandemic: A Systematic review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 62613–62660, Jan. 2022, doi: 10.1109/access.2022.3181605.
- [42] X. Liu, Y. K. Tse, S. Wang, and R. Sun, "Unleashing the power of supply chain learning: an empirical investigation," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 43, no. 8, pp. 1250–1276, Apr. 2023, doi: 10.1108/ijopm-09-2022-0555.
- [43] E. Abisset-Chavanne et al., "A Digital Twin use cases classification and definition framework based on Industrial feedback," *Computers in Industry*, vol. 161, p. 104113, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.compind.2024.104113.
- [44] L. Zhang, Y. Dou, and H. Wang, "Green supply chain management, risk-taking, and corporate value—Dual regulation effect based on technological innovation capability and supply chain concentration," *Frontiers in Environmental Science*, vol. 11, Feb. 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1096349.
- [45] D. R. Asokan, F. A. Huq, C. M. Smith, and M. Stevenson, "Socially responsible operations in the Industry 4.0 era: post-COVID-19 technology adoption and perspectives on future research," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 42, no. 13, pp. 185–217, Jun. 2022, doi: 10.1108/ijopm-01-2022-0069.
- [46] E. Ivaniuk et al., "Robotic assembly of modular concrete shells using falsework," *Developments in the Built Environment*, vol. 21, p. 100616, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.dibe.2025.100616.
- [47] B. Trenerry et al., "Preparing Workplaces for Digital Transformation: An Integrative Review and Framework of Multi-Level Factors," *Frontiers in Psychology*, vol. 12, Mar. 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.620766.
- [48] M. Coronese, M. Occelli, F. Lamperti, and A. Roventini, "AgriLOVE: Agriculture, land-use and technical change in an evolutionary, agent-based model," *Ecological Economics*, vol. 208, p. 107756, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ecolecon.2023.107756.
- [49] S. Abdelaziz and M. Munawaroh, "Mitigating Supply chain vulnerabilities: A bibliometric analysis of sustainable logistics for resilience and risk management," *International Journal of Automotive Science and Technology*, Dec. 2024, doi: 10.30939/ijastech.1554338.
- [50] A. K. Singh, A. Nayak, N. Kumar, R. P. Singh, and P. K. Jain, "Fabrication of personalized lithophane via additive manufacturing," *Sustainable Operations and Computers*, vol. 3, pp. 17–21, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.susoc.2021.09.001.