

SINERGIA DE IA Y FACTORES HUMANOS: INNOVACIÓN Y COMPLEJIDAD EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN LA INDUSTRIA 4.0

FECHA DE RECEPCIÓN: 29-10-24 / FECHA DE ACEPTACIÓN: 18-11-24

Eduardo Ahumada-Tello

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Correo: eahumada@uabc.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1698-5126>

Karen Gardenia Ramos-Higuera

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Correo: karen.ramos38@uabc.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5431-9688>

Juan M. Perusquia-Velasco

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Correo: perusquia@uabc.edu.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1787-9069>

RESUMEN

En este documento se explora cómo la Industria 4.0, basada en tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), los sistemas ciberfísicos y el big data, transforma el desarrollo de nuevos productos (NPD) mediante la integración de factores humanos y tecnológicos. Se analiza el enfoque de complejidad como marco teórico para comprender las interacciones no lineales, adaptativas y emergentes en sistemas productivos complejos. La investigación identifica los desafíos y oportunidades en la creación de valor sostenible, destacando la importancia de la colaboración humano-tecnológica. Se

analizan herramientas tecnológicas y se proponen modelos híbridos de decisión para abordar la incertidumbre y mejorar la innovación. Asimismo, se resalta cómo la IA puede amplificar la creatividad humana al ofrecer capacidades predictivas que complementan el juicio humano. El documento concluye que la integración sinérgica de la IA y los factores humanos es esencial para enfrentar la complejidad de los sistemas modernos y promover un desarrollo sostenible e innovador. Las recomendaciones incluyen fomentar modelos adaptativos, diseñar herramientas híbridas y fortalecer la capacitación multidisciplinaria en entornos de complejidad.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Complejidad, Innovación en Productos, Industria 4.0, Sinergia Humano-Tecnológica.

ABSTRACT:

This paper explores how Industry 4.0, based on advanced technologies such as artificial intelligence (AI), cyber-physical systems, and big data, transforms new product development (NPD) by integrating human and technological factors. The complexity approach is analyzed as a theoretical framework for understanding nonlinear, adaptive, and emergent interactions in complex production systems. The research identifies challenges and opportunities in sustainable value creation, highlighting the importance of human-technology collaboration. Technological tools are analyzed, and hybrid decision models are proposed to address uncertainty and enhance innovation. It also highlights how AI can amplify human creativity by offering predictive capabilities that complement human judgment. The paper concludes that the synergistic integration of AI and human factors is essential to address the complexity of modern systems and promote sustainable and innovative development. Recommendations include fostering adaptive models, designing hybrid tools, and strengthening multidisciplinary training in complex environments.

Keywords: Artificial Intelligence, Complexity, Product Innovation, Industry 4.0, Human-Technology Synergy.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 INDUSTRIA 4.0: DEFINICIÓN Y CONCEPTO

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, se refiere a la integración de tecnologías avanzadas en los procesos productivos con el objetivo de optimizar la eficiencia, la personalización y la interconexión en los sistemas industriales. Este concepto se basa en la digitalización y la convergencia de tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la robótica, la manufactura aditiva y el big data. Su característica principal radica en la capacidad de conectar dispositivos, recopilar

datos en tiempo real y utilizar análisis avanzados para tomar decisiones autónomas en la producción (Zhong et al., 2020). A diferencia de las revoluciones industriales previas, la Industria 4.0 no solo se enfoca en la maquinaria, sino también en la inteligencia integrada en los sistemas productivos (Lu, 2017).

1.2 ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LA INDUSTRIA 4.0

La estructura de la Industria 4.0 se fundamenta en cuatro pilares principales: sistemas ciberfísicos, conectividad, analítica avanzada y automatización inteligente. Los sistemas ciberfísicos integran componentes físicos con tecnología digital, lo que permite que los dispositivos interactúen entre sí de manera autónoma (Hermann et al., 2016). La conectividad, basada en IoT, posibilita la transmisión de datos entre sensores, máquinas y plataformas en la nube, mientras que la analítica avanzada transforma esos datos en información valiosa para optimizar procesos. Finalmente, la automatización inteligente, impulsada por IA, permite realizar tareas complejas con mínima intervención humana (Kagermann et al., 2013).

1.3 BENEFICIOS Y RELEVANCIA

La Industria 4.0 tiene el potencial de transformar la economía global mediante la mejora de la productividad, la reducción de costos y la creación de nuevos modelos de negocio. Entre los beneficios más destacados se encuentra la capacidad de personalizar productos a gran escala, conocida como “personalización masiva”, y la optimización de la cadena de suministro mediante predicciones basadas en big data. Además, fomenta la sostenibilidad al reducir el consumo de recursos y emisiones de carbono en los procesos productivos (Choi et al., 2019). En términos económicos, estudios han demostrado que las empresas que adoptan la Industria 4.0 tienden a aumentar su competitividad y adaptabilidad a mercados en constante cambio (Sung, 2018).

1.4 CASOS DE APLICACIÓN

Existen numerosos casos prácticos que ilustran el impacto de la Industria 4.0 en diferentes sectores. En la manufactura, empresas como Siemens han implementado fábricas inteligentes que utilizan sistemas ciberfísicos para ajustar la producción en tiempo real según la demanda del mercado. En la industria de la salud, se han desarrollado dispositivos médicos conectados a IoT que monitorean pacientes de manera remota, mejorando la calidad de la atención (Tao et al., 2018). En el sector logístico, tecnologías como la analítica predictiva y los vehículos autónomos han optimizado la distribución y la gestión de inventarios (Zhong et al., 2020).

1.5 RETOS Y PERSPECTIVAS

A pesar de sus beneficios, la implementación de la Industria 4.0 enfrenta desafíos significativos, como la falta de infraestructura digital, la resistencia al cambio en las organizaciones y los riesgos de ciberseguridad. Además, el avance tecnológico plantea preocupaciones sobre el impacto en el empleo, ya que la automatización podría reemplazar tareas realizadas por humanos. Sin embargo, estos retos pueden superarse mediante políticas públicas que promuevan la capacitación tecnológica, la inversión en infraestructura y la regulación para garantizar la seguridad en los sistemas conectados (Lu, 2017). A medida que estas tecnologías evolucionen, se espera que la Industria 4.0 continúe transformando los sistemas productivos y habilitando innovaciones en todos los sectores económicos.

2. EL ENFOQUE DE LA COMPLEJIDAD EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN LA INDUSTRIA

2.1 INTRODUCCIÓN AL ENFOQUE DE LA COMPLEJIDAD

El enfoque de la complejidad se centra en entender los sistemas adaptativos caracterizados por interacciones no lineales, alta incertidumbre y emergencias dinámicas. En el contexto del desarrollo de nuevos productos (NPD, por sus siglas en inglés), este enfoque ayuda a manejar los desafíos que surgen de la interconexión entre variables técnicas, sociales y económicas. La integración de este enfoque en NPD permite comprender cómo las decisiones locales pueden generar patrones globales inesperados, proporcionando herramientas para gestionar incertidumbre y mejorar la innovación (Kallenborn & Taübe, 2014). Además, la teoría de sistemas adaptativos complejos (CAS) aplicada al desarrollo de productos permite analizar interacciones dinámicas y crear estrategias adaptativas para entornos competitivos (Benabdellah et al., 2019).

2.2 ESTRUCTURA Y DINÁMICAS EMERGENTES EN NPD

El desarrollo de productos complejos está profundamente influenciado por dinámicas emergentes, donde los cambios pequeños en las condiciones iniciales pueden tener impactos significativos en los resultados. Estudios han demostrado que los proyectos de NPD operan como sistemas dinámicos donde las interacciones entre equipos multidisciplinarios generan comportamientos no previstos (Schlick et al., 2013). Además, la gestión de estos proyectos requiere herramientas que permitan identificar y modelar la complejidad estructural y dinámica de sus componentes para optimizar recursos y reducir riesgos (Schuh et al., 2016).

2.3 APLICACIÓN EN LA INNOVACIÓN DE PRODUCTOS

El enfoque de la complejidad se utiliza en NPD para fomentar la innovación mediante redes de interacción y retroalimentación. Por ejemplo, un estudio en la industria automotriz mostró cómo el uso de modelos de redes dinámicas permitió mejorar la colaboración y el aprendizaje entre proyectos, optimizando la gobernanza de NPD (Kallenborn & Taübe, 2014). Asimismo, la integración de CAS ayuda a predecir el impacto de decisiones en sistemas interdependientes, permitiendo una planificación más robusta en condiciones de incertidumbre (Akgün et al., 2014).

2.4 CASOS DE ESTUDIO EN ENTORNOS INDUSTRIALES

En sectores como el automotriz y el de alta tecnología, los proyectos de NPD han adoptado enfoques de complejidad para gestionar incertidumbres y mejorar la eficiencia operativa. Por ejemplo, el desarrollo de nuevos vehículos en empresas alemanas se utilizaron métricas para medir la complejidad operativa y técnica, lo que permitió reducir costos y mejorar la calidad del diseño (Schlick et al., 2013). De manera similar, las empresas tecnológicas han implementado estrategias de iteración ágil para manejar proyectos con alta incertidumbre, reduciendo significativamente los tiempos de desarrollo (Spill, 2012).

2.5 PERSPECTIVAS

El enfoque de la complejidad es esencial para entender las dinámicas adaptativas y emergentes en el desarrollo de nuevos productos. Este enfoque no solo permite una mayor adaptabilidad a entornos inciertos, sino que también fomenta la innovación colaborativa. A medida que los sistemas productivos se vuelven más interdependientes, la adopción de herramientas basadas en complejidad será crucial para mantener la competitividad y la sostenibilidad en la industria.

2.6 EL PROBLEMA DE ANÁLISIS

La Industria 4.0 ha transformado el desarrollo de nuevos productos mediante la integración de sistemas ciberfísicos, tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y factores humanos en sistemas productivos complejos. Sin embargo, el éxito de esta transformación depende de la capacidad para alinear las capacidades humanas, tecnológicas y organizativas dentro de un marco adaptativo que gestione la incertidumbre y la interdependencia. La cuestión clave radica en cómo estos elementos pueden integrarse de manera efectiva, optimizando no solo la innovación, sino también la eficiencia y la resiliencia del sistema.

3. OBJETIVO GENERAL:

- Explorar y analizar las interacciones entre factores humanos y tecnológicos en el desarrollo de nuevos productos bajo un enfoque de complejidad

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar patrones adaptativos y emergentes en equipos humanos-tecnológicos
- Explorar el planteamiento de un modelo híbrido humano-tecnológico para la toma de decisiones, sostenido en la integración de la IA y de la creatividad humana.
- Proponer el análisis del impacto de la IA en la sostenibilidad y ética del ciclo de vida del producto

5. HIPÓTESIS

- La integración de la IA con factores humanos, a través de modelos de complejidad, mejora significativamente la innovación y sostenibilidad en el desarrollo de productos.

6. ANÁLISIS CRÍTICO

Las interacciones adaptativas en equipos híbridos son esenciales en la Industria 4.0, donde la complejidad y la incertidumbre exigen respuestas ágiles y dinámicas. En estos entornos, los equipos híbridos, formados por humanos y máquinas, enfrentan desafíos como la coordinación efectiva, la integración tecnológica y la adaptación al cambio. La investigación ha demostrado que estos equipos se benefician de modelos adaptativos basados en inteligencia artificial (IA) para promover la colaboración y la resolución de problemas en tiempo real. Por ejemplo, investigadores han propuesto el uso de modelos matemáticos para mejorar las interacciones dentro de equipos híbridos mediante el desarrollo de modelos mentales compartidos y plataformas de interacción adaptativa. Estos modelos permiten que los equipos respondan de manera eficiente a cambios en entornos dinámicos, mejorando tanto la productividad como la toma de decisiones en sistemas industriales complejos (Canan et al., 2017).

A pesar de los avances, la implementación efectiva de interacciones adaptativas en equipos híbridos plantea varios desafíos, como la resistencia humana al cambio y la necesidad de interfaces tecnológicas intuitivas. Estudios recientes destacan el papel de tecnologías como los gemelos digitales y la realidad aumentada para mejorar estas interacciones. Existen evidencias de que el uso de estas tecnologías en equipos híbridos facilita la colaboración, incluso con operadores no expertos, al proporcionar simulaciones en tiempo real y un sistema flexible que integra nuevos dispositivos con facilidad. Estas herramientas no solo optimizan la comunicación entre humanos y máquinas, sino que también promueven la

adaptabilidad necesaria para responder a la incertidumbre y el dinamismo característicos de la Industria 4.0 (Gallala et al., 2022).

La inteligencia artificial (IA) está transformando la manera en que se potencia la creatividad humana al complementar las capacidades intuitivas con herramientas predictivas basadas en datos. Lejos de reemplazar la creatividad, la IA actúa como un amplificador que extiende el rango de pensamiento humano mediante algoritmos de aprendizaje automático, análisis de patrones y modelado predictivo. En industrias creativas, como el diseño gráfico y la música, tecnologías como las redes neuronales generativas permiten a los humanos explorar nuevas posibilidades que antes eran inaccesibles, promoviendo una colaboración humano-máquina que redefine los límites de la innovación. En este contexto, la IA es más efectiva como asistente colaborativo que como creadora independiente y su diseño centrado en los humanos potencia la generación de ideas mediante la combinación de intuición creativa humana y análisis computacional (Anantrasirichai & Bull, 2020).

No obstante, la integración de la IA como herramienta para potenciar la creatividad enfrenta desafíos importantes. Entre estos, se encuentra la dependencia excesiva en la tecnología, que podría limitar el desarrollo de habilidades humanas críticas y generar una falsa percepción de creatividad autónoma por parte de las máquinas. Sin embargo, estudios recientes sugieren que el equilibrio óptimo se encuentra en sistemas diseñados para fomentar la sinergia entre las fortalezas humanas y las capacidades analíticas de la IA. Barile et al. (2022) argumentan que la IA debe adoptar un enfoque de “inteligencia aumentada” en lugar de “inteligencia artificial”, donde la creatividad humana se ve enriquecida, no reemplazada, mediante interfaces que promuevan la reflexión y la autonomía creativa (Barile et al., 2022). Este enfoque asegura que la IA funcione como un catalizador para la creatividad, reforzando la capacidad de los humanos para enfrentar desafíos complejos de manera innovadora.

6.1 IMPLICACIONES TEÓRICAS

El enfoque de complejidad, que subraya las relaciones no lineales y emergentes en los sistemas humano-tecnológicos, ofrece un marco teórico poderoso para analizar las dinámicas adaptativas en entornos complejos. En sistemas caracterizados por la interacción entre humanos y tecnología, las relaciones no lineales emergen de patrones dinámicos que no pueden reducirse a la suma de las partes individuales. Por ejemplo, un estudio de Casadiego et al. (2017) destaca cómo los sistemas de interacción en red permiten identificar relaciones directas y no lineales entre componentes sin depender de un modelo predefinido. Este enfoque es esencial para capturar la complejidad de sistemas humano-tecnológicos donde los estados emergentes son el resultado de interacciones dinámicas multidimensionales.

Este marco teórico tiene implicaciones prácticas significativas, particularmente en la

integración de tecnología y comportamiento humano. Las relaciones emergentes no lineales permiten anticipar puntos de inflexión en sistemas sociotécnicos, donde la retroalimentación positiva entre aprendizaje tecnológico y comportamiento humano puede llevar a cambios sistémicos. Un ejemplo práctico de este fenómeno es la adopción de tecnologías disruptivas en sectores industriales, donde las interacciones dinámicas entre usuarios y sistemas tecnológicos promueven estados de equilibrio no anticipados. Esto enfatiza la importancia de abordar las relaciones no lineales y emergentes desde una perspectiva interdisciplinaria para diseñar sistemas más adaptativos y resilientes.

El diseño de herramientas híbridas de decisión que integran inteligencia artificial (IA) con procesos humanos es un paso esencial para enfrentar la creciente complejidad de los sistemas actuales. Estas herramientas no solo combinan la capacidad analítica y predictiva de la IA, sino que también incorporan el juicio humano para tomar decisiones más equilibradas y adaptativas. Según Tolk et al. (2020), los modelos híbridos que combinan teorías y herramientas de múltiples disciplinas son fundamentales para superar las limitaciones de las soluciones unidimensionales en contextos de complejidad. Estas herramientas permiten modelar sistemas multidimensionales y abordar problemas que involucran múltiples interacciones no lineales. Además, frameworks como los modelos de simulación híbridos facilitan una mejor comprensión de cómo las decisiones humanas pueden amplificarse mediante el soporte algorítmico de la IA, asegurando decisiones más informadas y ajustadas a contextos específicos (Tolk et al., 2020).

6.2 IMPLICACIONES PRÁCTICAS

La capacitación de equipos multidisciplinarios en entornos de complejidad es otro componente crucial para garantizar el éxito de estas herramientas híbridas. La IA puede ser una herramienta poderosa para acelerar el proceso de aprendizaje en equipos diversos, proporcionando simulaciones y modelos interactivos que ilustran cómo las decisiones impactan dinámicamente en sistemas complejos. Los enfoques híbridos que combinan aprendizaje automático con modelos interpretables no solo mejoran el rendimiento predictivo, sino que también aumentan la comprensión de las relaciones causales en los sistemas analizados. Este tipo de capacitación, que incorpora tanto habilidades técnicas como competencias de análisis crítico, permite a los equipos multidisciplinarios navegar de manera efectiva en entornos caracterizados por incertidumbre y adaptabilidad (Guo et al., 2019).

6.3 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Incorporar la diversidad cultural en equipos híbridos dentro de la Industria 4.0 no solo aporta riqueza de perspectivas, sino que también plantea desafíos que deben abordarse

estratégicamente para optimizar el desempeño. Los equipos culturalmente diversos ofrecen un potencial significativo para la creatividad e innovación, pero requieren una gestión adecuada para superar barreras como diferencias en estilos de trabajo y comunicación. Los equipos multiculturales enfrentan inicialmente conflictos derivados de la diversidad, pero, con el tiempo, logran alinear sus diferencias hacia metas compartidas, lo que incrementa la creatividad en los procesos de innovación. Estos equipos necesitan líderes que implementen estrategias específicas para manejar tensiones culturales y maximizar las oportunidades de aprendizaje compartido (Bouncken et al., 2016).

A pesar de sus beneficios potenciales, la diversidad cultural en equipos híbridos también puede generar dinámicas complejas. Por ejemplo, la diversidad profunda, como diferencias en valores culturales, puede obstaculizar la cohesión si no se gestiona eficazmente. La diversidad cultural a nivel profundo está positivamente relacionada con la creatividad del equipo, especialmente en tareas interdependientes y colaborativas. Sin embargo, la gestión de la diversidad requiere un clima inclusivo que promueva la integración cultural y reduzca conflictos. Esto puede lograrse mediante intervenciones como la capacitación en inteligencia cultural y el uso de herramientas tecnológicas que faciliten la colaboración intercultural en entornos virtuales (Wang et al., 2019). Así, al fomentar un ambiente inclusivo y equipar a los equipos con habilidades interculturales, las organizaciones pueden convertir la diversidad cultural en una ventaja competitiva.

7. CONCLUSIONES

La integración efectiva de la inteligencia artificial (IA) con factores humanos se ha posicionado como un catalizador esencial para fomentar la innovación en el desarrollo de productos dentro de entornos complejos. Este enfoque no solo combina las fortalezas complementarias de ambas dimensiones, la analítica y precisión de la IA junto con la creatividad y adaptabilidad humana, sino que también ofrece una ventaja competitiva en un mercado caracterizado por la incertidumbre y la interconexión global. En el ámbito académico, este tipo de integración refleja los principios fundamentales de los sistemas adaptativos complejos, donde las interacciones no lineales entre componentes pueden generar resultados emergentes altamente innovadores. Estudios recientes confirman que la sinergia entre las capacidades predictivas de la IA y la intuición humana mejora la eficiencia en la toma de decisiones, acelera los procesos de prototipado y optimiza la asignación de recursos en fases críticas del desarrollo de productos, demostrando que la tecnología, lejos de reemplazar, amplifica las habilidades humanas. Este enfoque es particularmente relevante en sectores como la manufactura avanzada, la biotecnología y la industria automotriz, donde la presión por innovar continuamente es alta.

Desde una perspectiva empresarial, la adopción de estrategias que integren IA con factores humanos es más que una herramienta de innovación; es un imperativo estratégico. La IA

permite analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, proporcionando insights que mejoran tanto la predicción de tendencias de mercado como el diseño de productos personalizados. Sin embargo, la dimensión humana es indispensable para interpretar estos datos de manera contextual, tomar decisiones éticas y diseñar productos alineados con las necesidades reales de los usuarios. Además, integrar IA en el trabajo humano promueve un modelo de colaboración adaptativo que incrementa la resiliencia organizacional frente a desafíos inesperados. Empresas líderes que han adoptado este enfoque han demostrado mejoras significativas en el rendimiento operativo y en la satisfacción del cliente, lo que subraya la importancia de cultivar un ecosistema híbrido donde tecnología y humanidad trabajen de manera sinérgica. En resumen, la fusión efectiva de la IA y los factores humanos no solo es clave para enfrentar la complejidad de los entornos modernos, sino también para mantener un enfoque sostenible y competitivo en el desarrollo de productos.

Entonces se puede concluir que el enfoque de complejidad proporciona una perspectiva integral y robusta para analizar y gestionar las interacciones adaptativas y emergentes dentro de sistemas complejos. Este enfoque reconoce que dichos sistemas, como las organizaciones empresariales o los ecosistemas tecnológicos, no operan de manera lineal, sino que dependen de interacciones dinámicas y multifacéticas entre sus componentes. Al considerar la no linealidad, la adaptabilidad y la emergencia como principios centrales, este enfoque facilita la comprensión de fenómenos como la formación de patrones, los cambios disruptivos y las respuestas sistémicas a factores externos. En un contexto académico, el enfoque de complejidad ha permitido desarrollar modelos predictivos y herramientas analíticas que capturan la naturaleza interdependiente de los sistemas modernos, desde la evolución de mercados hasta el diseño de nuevas tecnologías. Este marco, además, resalta la importancia de integrar diferentes disciplinas para abordar problemas sistémicos, favoreciendo un análisis holístico que se adapta a la creciente incertidumbre global.

Desde un punto de vista empresarial, el enfoque de complejidad tiene implicaciones directas en la gestión estratégica y la toma de decisiones. En un mundo caracterizado por la globalización y la aceleración tecnológica, las empresas enfrentan entornos altamente volátiles y dependientes de múltiples variables. El enfoque de complejidad permite a las organizaciones identificar patrones emergentes en mercados fluctuantes, gestionar riesgos de manera proactiva y fomentar la resiliencia frente a crisis inesperadas. Esto se traduce en una capacidad superior para innovar, adaptarse a cambios disruptivos y mantener ventajas competitivas sostenibles. Además, su aplicación práctica en el desarrollo de herramientas de simulación, análisis de redes y gestión de la incertidumbre ha demostrado ser invaluable en sectores como la manufactura avanzada, la logística y la economía digital. En definitiva, el enfoque de complejidad no solo es un marco teórico crucial para comprender sistemas dinámicos, sino también una herramienta esencial para la sostenibilidad y el éxito en el entorno empresarial contemporáneo.

Este trabajo ofrece un marco conceptual para explorar la sinergia entre los factores humanos y tecnológicos en la creación de valor sostenible, un tema crítico en un mundo

donde la tecnología redefine las dinámicas empresariales y sociales. Al abordar la interacción entre capacidades humanas, como la creatividad, la adaptabilidad y el juicio crítico, y tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y el análisis de big data, este enfoque subraya la importancia de integrar ambos dominios para enfrentar los retos globales. En un contexto académico, este planteamiento abre nuevas vías para investigar cómo las tecnologías pueden complementar y potenciar las habilidades humanas, creando un ecosistema que no solo mejora la productividad, sino que también fomenta la innovación responsable. Además, este marco respalda la idea de que el progreso tecnológico debe alinearse con principios éticos y de sostenibilidad, asegurando que la creación de valor no comprometa las necesidades futuras.

Desde una perspectiva empresarial, las implicaciones de esta propuesta son profundas. La integración humano-tecnológica no solo permite una mayor eficiencia operativa, sino que también ofrece una ventaja competitiva en mercados dinámicos y globalizados. Empresas que adoptan estrategias basadas en esta sinergia logran adaptarse más rápidamente a cambios disruptivos, diseñar productos más innovadores y establecer modelos de negocio sostenibles. En particular, la creación de valor sostenible, fundamentada en esta colaboración, tiene el potencial de redefinir las métricas de éxito empresarial, moviendo el enfoque hacia objetivos que equilibran el crecimiento económico, la responsabilidad social y la gestión ambiental. En este sentido, este trabajo no solo marca un punto de partida crucial para futuras investigaciones, sino que también proporciona a los líderes empresariales un enfoque pragmático y ético para navegar la complejidad del entorno contemporáneo.

REFERENCIAS

- Ahumada-Tello, E., Evans, R. (2023). Human factors, innovation and technology, and cluster strategies as triggers of new product development. *Procedia CIRP*, 119, 179-181. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.090>
- Ahumada-Tello, E., Evans, R. (2023b). A Complexity-based Framework for Social Product Development. *Procedia CIRP*, 119, 1204-1209. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.05.009>
- Akgün, A. E., Keskin, H., & Byrne, J. C. (2014). Complex adaptive systems theory and firm product innovativeness. *Journal of Engineering and Technology Management*. DOI: 10.1016/J.JENGTCEMAN.2013.09.003
- Anantrasirichai, N., & Bull, D. (2020). Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 589-656. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10039-7>
- Barile, S., Bassano, C., Piciocchi, P., Vito, P., & Spohrer, J. C. (2022). Algorithms and Human Creativity: Threats or Opportunities? *The Human Side of Service Engineering*. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002563>
- Benabdellah, A. C., Bouhaddou, I., & Benghabrit, A. (2019). Holonic multi-agent system for modeling complexity structures of Product Development Process. 2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS). DOI: 10.1109/ICoCS.2019.8930714
- Canan, M., Sousa-Poza, A., & Dean, A. (2017). Complex Adaptive Behavior of Hybrid Teams. *Procedia Computer Science*, 114, 139-148. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2017.09.013>
- Casadiego, J., Nitzan, M., Hallerberg, S., & Timme, M. (2017). Model-free inference of direct network interactions from nonlinear collective dynamics. *Nature Communications*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02288-4>
- Choi, T. M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2018). Big Data Analytics in Operations Management. *Production and Operations Management*, 27(10), 1868-1883. <https://doi.org/10.1111/poms.12838>
- Gallala, A., Kumar, A. A., Hichri, B., & Plapper, P. (2022). Digital Twin for Human-Robot Interactions by Means of Industry 4.0 Enabling Technologies. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22134950>
- Guo, M., Zhang, Q., Liao, X., Chen, F. Y., & Zeng, D. (2019). A hybrid machine learning framework for analyzing human decision-making through learning preferences. *Omega*. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102263>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 3928-3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. German National Academy of Science and Engineering.
- Kallenborn, O., & Taübe, F. (2014). Complex Adaptive Socio-Technical Systems: The Role of Socio-Technical Networks in New Product Development. *Organization Studies*. DOI: 10.2139/SSRN.2387287
-

- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications, and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Mubarak, M.F., Evans, R, Ahumada-Tello, E.(2024). Manufacturing in Industry 4.0: A Scoping Review of Open Innovation Practices and Future Research. 6, 1-10
- Schlick, C. M., Duckwitz, S., & Schneider, S. (2013). Project dynamics and emergent complexity. *Computational and Mathematical Organization Theory*. DOI: 10.1007/s10588-012-9132-z
- Schuh, G., Rudolf, S., & Mattern, C. (2016). Conceptual framework for evaluation of complexity in new product development projects. 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). DOI: 10.1109/ICIT.2016.7474894
- Spill, H. (2012). *The Influence of Complexity in Determining New Product Development Strategies*. Victoria University of Wellington. DOI: 10.26686/wgtn.17003644.v1
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.005>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- Tolk, A., Harper, A., & Mustafee, N. (2020). Hybrid models as transdisciplinary research enablers. *European Journal of Operational Research*, 291(3), 1075-1090. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.010>
- Zhong, R. Y., Xu, X., & Klotz, E. (2020). Smart Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.02.001>