

03-034

SOCIAL SMART MANUFACTURING SYSTEMS IN INDUSTRY 5.0: VALUES AS INTEGRATORS BETWEEN THE OPERATOR AND TECHNOLOGY

Agote Garrido, Alejandro ⁽¹⁾; Martín Gómez, Alejandro ⁽¹⁾; Lama Ruiz, Juan Ramón ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla

Industry 4.0 has among its main objectives the development and implementation of cyberphysical systems driven by advanced communication and information technologies. This carácter results in manufacturing systems that denote a significant loss of social value. Industry 5.0 arises in this context to facilitate the incorporation, among others, of social sustainability principles in the interaction of operators with technology within advanced manufacturing processes. In the present work, the level of impact that the technology developed within Industry 4.0 is producing in the operators is evaluated. In addition, it analyzes how the inclusion of Social Values in the different levels of application: macro (organizational), meso (manufacturing plant) and micro (workstation), allows to guarantee the integration between the operator and the new technologies in the human-machine interaction systems. Finally, the challenges that arise around this manufacturing paradigm are presented to offer a vision of the future that is beneficial in the practice of social-smart industrial environments.

Keywords: Industry 5.0; social values; social smart industry; advanced manufacturing systems; human-machine interaction; human-centric manufacturing

SISTEMAS DE FABRICACIÓN SOCIAL-INTELIGENTES EN LA INDUSTRIA 5.0: LOS VALORES COMO INTEGRADORES ENTRE EL OPERADOR Y LA TECNOLOGÍA

La Industria 4.0 tiene entre sus principales objetivos el desarrollo e implementación de sistemas ciberfísicos impulsados por las tecnologías avanzadas de la comunicación e información. Este carácter da como resultado sistemas de fabricación que denotan una importante pérdida de valor social. La Industria 5.0 surge en este contexto para facilitar la incorporación, entre otros, de principios de sostenibilidad social en la interacción de los operadores con la tecnología dentro de los procesos de fabricación avanzada. En el presente trabajo se evalúa el grado de impacto que la tecnología desarrollada en el seno de la Industria 4.0 está produciendo en los operadores. Además, se analiza cómo la inclusión de Valores Sociales en los diferentes niveles de aplicación: macro (organizacional), meso (planta de producción) y micro (puesto de trabajo), permite garantizar la integración entre el operador y las nuevas tecnologías en los sistemas de interacción hombre-máquina. Por último, se presentan los desafíos que surgen en torno a este paradigma de fabricación, para ofrecer una visión de futuro que sea beneficiosa en la práctica de los entornos industriales social-inteligentes.

Palabras clave: Industria 5.0; valores sociales; industria social-inteligente; sistemas avanzados de fabricación; interacción hombre-máquina; fabricación centrada en el ser humano



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La cuarta revolución industrial se caracteriza por el creciente interés en la digitalización de los procesos de fabricación, apoyándose en tecnologías emergentes como los Sistemas Ciberfísicos (CPS) y el Internet de las Cosas (IoT) (Dalenogare et al., 2018). Este desarrollo tecnológico requiere una amplia capacidad para procesar, intercambiar y almacenar datos, lo que deriva en sistemas de fabricación con mayor cantidad de información (Manyika et al., 2013). Los operarios presentes en el propio proceso de producción reciben esta información y han de comprenderla y gestionarla. Para estos operadores, supone un sobreesfuerzo adaptarse a los nuevos requisitos que presentan los nuevos sistemas de producción avanzados. Las tareas en las que trabajan van a exigir cada vez más conocimientos y habilidades para atender al correcto control de los procesos (Arntz et al., 2016).

La definición de un nuevo paradigma industrial (Industria 5.0), trae entre sus objetivos el esfuerzo por investigar y desarrollar soluciones que cierren la brecha que se está creando entre las tecnologías novedosas, y las habilidades que estas requieren en el operador en contacto con ellas (Posada et al., 2018). La presente investigación recoge el impacto que la tecnología está teniendo en su contacto con el ser humano dentro del entorno industrial. Además, se lleva a cabo un análisis para reflejar el resultado del esfuerzo que los investigadores están haciendo por presentar soluciones centradas en valores humanos, en los diferentes niveles industriales (Philbeck et al., 2018). Finalmente, se reflejan las conclusiones obtenidas tras el estudio y se proponen las posibles líneas de investigación futuras.

2. Revisión de la literatura

Con el objetivo de examinar el rol del ser humano en su interacción con los nuevos entornos industriales, la revisión de la literatura llevada a cabo comienza por definir la relación entre los operadores y las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0. Este análisis permite entender cómo surge la inquietud por avanzar hacia un nuevo paradigma Industrial, la Industria 5.0. Así, la estructura de la revisión de la literatura continúa por presentar diferentes soluciones que surgen para garantizar la relación simbiótica entre el ser humano y las avanzadas tecnologías de la comunicación e información. Esta investigación sigue un proceso lógico de estudio desde un nivel macro, donde se trabaja con modelos de gestión y enfoques de estrategia empresarial, hasta alcanzar un nivel micro con casos de diseño concretos.

2.1 La tecnología y el Operador 4.0

El papel que ha ido adquiriendo el ser humano en el entorno industrial a medida que se han ido produciendo las diferentes revoluciones industriales, ha sido cambiante. En el seno de la Industria 4.0 donde los operarios desarrollan sus funciones en contacto con los Sistemas Ciberfísicos (CPS), surge el concepto de Operador 4.0 (Romero et al., 2015). Este define al ser humano cuyas capacidades se ven afectadas por la interacción con la tecnología avanzada. El Operador 4.0 trabaja de manera simbiótica con las máquinas, interactúa con robots colaborativos (Koch et al., 2017), utiliza exoesqueletos (Rahman et al., 2013) y controla los CPS. La conexión con las tecnologías ciberfísicas de la Industria 4.0 supone un impacto en las capacidades físicas, sensitivas y cognitivas de los operadores (Trentesaux & Rault, 2017).

La interacción con los CPS en el entorno industrial puede ser beneficiosa para el operador. Se espera que la tecnología apoye a los operadores en la realización de tareas, les ayude en la toma de decisiones y que aprenda de la actividad de estos para predecir situaciones y optimizar procesos (Posada et al., 2018). Sin embargo, como la prioridad se establece en la impulsión tecnológica, en ocasiones, el aspecto social queda relegado a un segundo nivel o

ni si quiera se tiene en cuenta. Esto deriva en problemas de distinta índole como falta de interacción social o problemas de salud, entre otros (Inkulu et al., 2022).

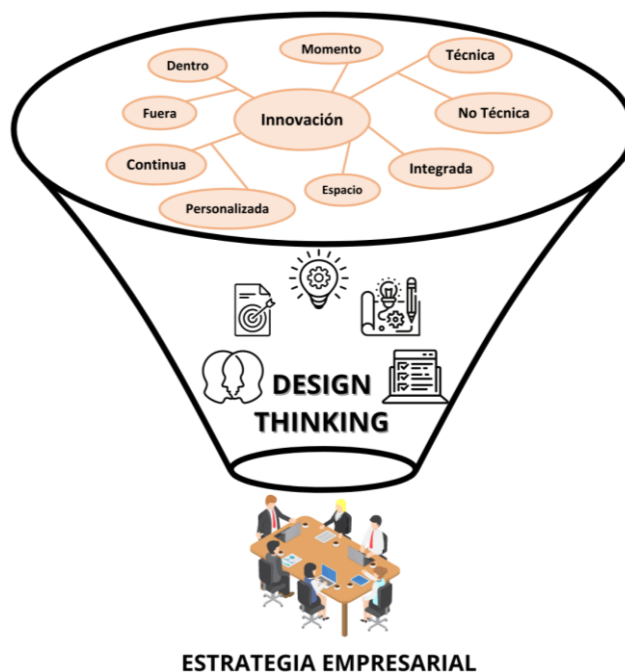
Dada la estrecha interacción hombre-máquina que se ocasiona en estos entornos industriales, el nuevo modelo de Industria 5.0 presta atención a las posibles consecuencias que la tecnología tiene sobre el bienestar de ser humano (Trentesaux & Rault, 2017). Mientras que la Industria 4.0 estaba asentando sus bases en el desarrollo de una Fábrica Inteligente caracterizada por la impulsión tecnológica, la Industria 5.0 da comienzo a la era de la Fábrica Social-Inteligente. Así, la premisa de colocar al ser humano como centro del proceso de producción, trata de crear sistemas socio-céntricos sostenibles que aprovechan las tecnologías inteligentes en favor de este (Bednar & Welch, 2020).

2.2 Sistemas de fabricación Social-Inteligentes a nivel macro (organización)

El inicio de la Industria 5.0 hace que surjan desafíos sustanciales con respecto a la gestión de los nuevos entornos industriales y los modelos de negocio (Rizzo et al., 2016). Se necesitan entornos tecnológicos que desarrollen una actividad técnicamente factible, financieramente viable y, sobre todo, centrada en el ser humano. Esto indica que ahora el foco no está solo en la innovación, sino también en la implementación de la innovación (Vitali et al., 2017). Es por ello, por lo que se requiere un marco de gestión de la innovación que permita lograr un entorno sinérgico. Un entorno que tenga en cuenta tecnologías como la inteligencia artificial, el Big Data o el IoT y que a su vez esté centrado en el ser humano para obtener los máximos beneficios posibles (Özdemir & Hekim, 2018).

Según Leminen et al. (2012), se necesitan nuevos marcos de gestión de la innovación que hagan frente a los entornos industriales fomentados dentro de la Industria 5.0. Solo así se podrá conseguir que funcionen de manera eficiente y puedan lograr un equilibrio entre las necesidades comerciales y sociales. Actualmente se pueden encontrar estudios como el llevado a cabo por Aslam et al. (2020), en el que se propone un nuevo marco de gestión de la innovación para introducir los valores del ser humano en la gestión de los entornos del nuevo paradigma industrial. Este nuevo marco surge bajo la denominación de Gestión Absoluta de la Innovación (AIM).

Figura 1: Marco de Gestión de la Innovación Absoluta



La figura 1 representa el Marco de Gestión propuesto por Aslam. Este se define como un marco que vincula el ecosistema de la innovación con la estrategia empresarial, mediante la adopción de la gestión de la innovación como una estrategia de diseño para hacer la innovación más centrada en el ser humano (Aslam et al., 2020). Esto va a permitir crear valor empresarial, impulsar el espíritu corporativo y lograr así una ventaja competitiva social, a la vez que se abordan las necesidades tecnológicas de la industria 5.0. En este, el ecosistema de innovación hace referencia al entorno necesario para que ocurra la innovación. Este busca ser implantado como estrategia empresarial para hacer de la innovación parte de la rutina diaria de la organización, en lugar de considerarla como una actividad independiente (Owen, 1998). El elemento central que permite conectar la política tecnológica y la innovación, con la estrategia corporativa, es el concepto de Pensamiento de Diseño (Design Thinking) (Pasisi et al., 2014). Este marco integrado permite así, crear valor en los usuarios implicados (operadores, gerentes, clientes, ...).

2.3 Sistemas de fabricación Social-Inteligentes a nivel meso (planta industrial)

La búsqueda por la promoción de la sostenibilidad social en la Industria 5.0 a nivel meso, se caracteriza por la inclusión de la tecnología ciberfísica en el (re)diseño de procesos y plantas de fabricación en favor de los valores humanos. En los últimos años, se han llevado a cabo diferentes investigaciones que desarrollan modelos de planificación industrial (Hawer et al., 2017). Sin embargo, pocas tienen en cuenta la experiencia de los trabajadores para apoyar el diseño de procesos centrados en el ser humano. Investigadores como Peruzzini et al. (2018), trabajan por definir un modelo que permita monitorear el estrés y la satisfacción de los operadores para respaldar la definición de los requisitos del sistema industrial y los procesos.

Otros investigadores como Gregori et al. (2017), ofrecen una herramienta que recopila datos sociales en una planta de producción. Esto permite a los futuros diseñadores considerar las condiciones laborales y necesidades humanas en las primeras etapas dentro del desarrollo de sistemas de producción. En la tabla 1 se enumeran los que se consideran los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de afrontar la innovación social en una planta industrial (Papetti et al., 2020). El monitoreo de parámetros clave, unido a la participación de los operadores y junto con la posterior adaptación de las tareas, permite obtener importantes beneficios sociales. Las tecnologías avanzadas han de ser facilitadores en la innovación social para preservar o incrementar el valor humano en las fábricas del futuro.

Tabla 1: Aspectos de afrontamiento de la innovación social en una planta industrial

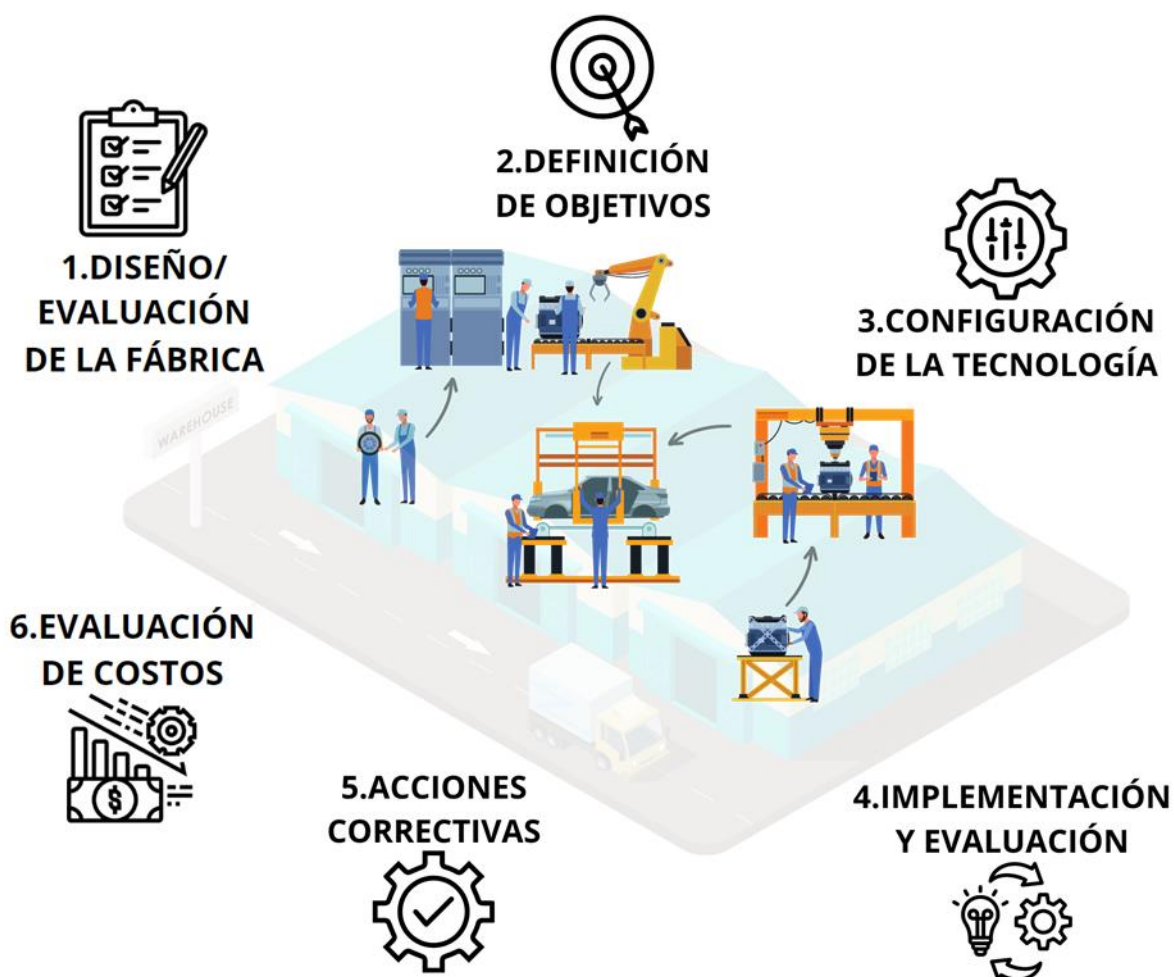
<i>Principales aspectos</i>	
Seguridad y salud ocupacional preventiva	Participación de los operadores
Diseño de trabajo orientado al ser humano	Conciliación de la vida laboral y familiar
Adaptación de tareas	Monitoreo de parámetros clave

Papetti et al. (2020) proponen un método con el que integrar las tecnologías ciberfísicas avanzadas en el entorno industrial, considerando el pilar de la sostenibilidad social. Esta metodología estructurada busca impulsar la creación de fábricas conectadas, centradas en el ser humano. Para ello se basa en los seis pasos descritos en la figura 2. Evaluación de la fábrica, definición de los objetivos y límites del (re)diseño, configuración de la tecnología, implementación y evaluación, identificación de acciones correctivas y evaluación de costos (Papetti et al., 2020).

El primer paso, consiste en la definición completa de la fábrica, o en su evaluación en caso de presentarse una situación de rediseño. En la realidad, es frecuente encontrar empresas

con una estructura organizativa no definida. Este primer paso permite superar esta situación para comprender claramente la planta en cuanto a su proceso productivo, estructura y recursos, entre otros. El segundo paso consiste en definir los principales objetivos del (re)diseño. Estos han de estar centrados en el valor del ser humano implicado en el proceso de producción. Los objetivos han de ser compartidos para implicar a los operadores y han de ser alcanzables. Una vez definidos los objetivos, el tercer paso consiste en definir el marco de tecnologías que van a dar soporte al proceso. Estas han de garantizar la toma y gestión de datos. El cuarto paso define la campaña de medición. Esta ha de ser lo menos intrusiva posible para el ser humano implicado. Los resultados obtenidos han de ser recopilados, normalizados y analizados. Finalizado este, tiene lugar el quinto paso, la adopción de acciones correctivas. Las estrategias a ejecutar dependen de las deficiencias encontradas y permite actuar en diferentes niveles: organizacional, operacional y tecnológico. Finalmente, el sexto paso se realiza para comprobar la viabilidad económica del proceso.

Figura 2: Método de diseño de fábricas conectadas centradas en el ser humano



2.4 Sistemas de fabricación Social-Inteligentes a nivel micro (puesto de trabajo)

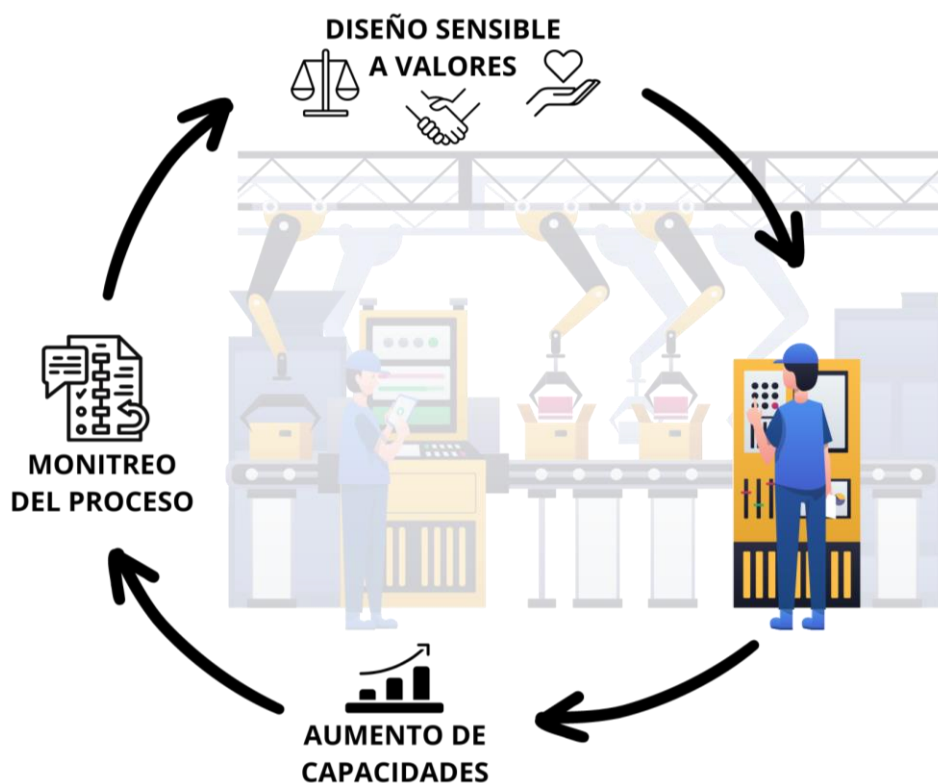
El desarrollo de sistemas de fabricación social-inteligentes a nivel micro hace referencia al re(diseño) directo de puestos de trabajo y tecnologías conforme a valores humanos, en lugar de relegar estos últimos a ocurrencias tardías (Friedman, 2019). A pesar de la inclinación por enmarcar la tecnología como un objeto neutral, es inevitable que termine manifestando

valores (Van de Poel, 2015). Estos determinan la forma en la que los operadores de esta tecnología interactúan con ella. Por todo esto, en el contexto de la Industria 5.0, donde se busca la simbiosis hombre-máquina, los investigadores centran su interés en proporcionar pautas y diseñar metodologías que guíen entornos de trabajo aceptables y éticamente sostenibles (Kaasinen et al., 2020).

La interacción hombre-máquina en la Industria 5.0 ha de ser justa y respetuosa con la dignidad del ser humano, no debe crear brechas, sino fomentar la que la tecnología se integre con las necesidades del operador. El diseño de un puesto de trabajo que no respete el rol y la experiencia del operador puede afectar gravemente a su valor como persona y provocar su rechazo hacia su trabajo. Así mismo, la tecnología orientada al valor busca crear un aprendizaje y crecimiento continuo donde la fuerza laboral se vea incrementada con una mentalidad de compartir y colaborar. Con el fin de poder respetar todas estas premisas, cada vez más investigadores apuestan por el Diseño Sensible a Valores (DSV) como marco teórico y metodológico para guiar el diseño de los puestos de trabajo y tecnologías de las fábricas del futuro (Gazzaneo et al., 2020).

Longo, Padovano y Umbrello (2020), presentan un caso de uso con el propósito de explorar las cuestiones éticas que se encuentran detrás de la implementación de una solución tecnológica en la interacción hombre-máquina dentro de la Industria 5.0. En este, prototipan un asistente digital habilitado por voz desde un enfoque orientado a valores. El asistente podrá interactuar con el operador a través de la respuesta por voz generada digitalmente, ofreciéndole un acceso rápido e intuitivo a una gran cantidad de información. La traducción de valores en la tecnología diseñada evita que puedan surgir problemas como la discriminación de operadores por su capacidad física, cultura o idioma en el uso de esta. Una vez (re)diseñada la tecnología o puesto, es necesario establecer un sistema de monitoreo para comprobar que los valores se han traspuesto correctamente como soluciones tecnológicas y están satisfaciendo a las partes interesadas (Vernim et al., 2022).

Figura 3: Método de diseño de puestos de trabajo y tecnología conforme a valores



3. Futuras líneas de investigación

La implementación de marcos que guíen la gestión de la innovación en la Industria 5.0 y permitan integrar los procesos centrados en el ser humano (Aslam et al., 2020), parece no ser suficiente para lograr los resultados esperados. Parece necesario definir y desarrollar un marco legal que establezca unas pautas para el desarrollo de entornos social-inteligentes. Leyes que garanticen la idónea implementación tecnológica desde el respeto de los valores humanos y el bienestar de las personas implicadas en el proceso. Esta carencia se hace presente en el inicio de este cambio de paradigma industrial, por lo que se prevé que se continúe trabajando en este sentido.

Las investigaciones futuras que centren su propósito en el desarrollo de plantas industriales social-inteligentes, deben apuntar a seleccionar un conjunto de indicadores sobre los factores humanos. Estos indicadores pueden ser obtenidos a través de evaluaciones objetivas y subjetivas del trabajador y su entorno. Para ello, se puede emplear alguna técnica integradora como el análisis relacional de Gray (Bhanot et al., 2016). También, se pueden obtener a través del desarrollo simulaciones integradas por ordenador basadas en prototipos virtuales y gemelos digitales (Wang et al., 2023). El objetivo final de las futuras investigaciones será conseguir de forma automática las mejores acciones preventivas y correctivas que den solución a los problemas acontecidos en cada fábrica.

En el ámbito del (re)diseño de tecnologías y puestos de trabajo, las investigaciones se centran en desarrollar metodologías que permitan una aplicación práctica para definir hasta el final los entornos industriales de interacción hombre-máquina (Longo et al., 2020). Las investigaciones buscan centrar su objetivo en el potencial que ofrece un diseño basado en valores para mitigar los problemas relacionados con la implementación tecnológica en la industria simbiótica 5.0.

Junto con todos estos propósitos, los posibles desafíos o líneas futuras en torno al concepto de Industria 5.0 abarcan un amplio debate por la multidisciplinariedad de este nuevo modelo industrial. El potencial de este paradigma va más allá de las fábricas. En el ámbito de la gestión del tráfico y el transporte, por ejemplo, se prevé que la Industria 5.0 pueda proporcionar un avance notable gracias al trabajo común de la inteligencia humana con las redes 5G en el diseño de vehículos autónomos (Deguchi, 2020). En otros ámbitos como la salud, se estudia la inclusión tecnológica en tareas de diagnóstico personalizado y monitoreo de pacientes (Adel, 2022). Esta trasposición del concepto de Industria 5.0 a aspectos cotidianos fuera del entorno industrial toma el nombre de Sociedad 5.0 (Holroyd, 2022).

4. Conclusiones

El concepto de Industria 5.0 surge para dar lugar a los aspectos de carácter social que se pretendían conseguir dentro del marco de la Industria 4.0 pero, que se apreciaba, se estaban dejando de lado por centrarse en otros propósitos como el desarrollo de entornos ciberfísicos interconectados. El estudio realizado permite dar una visión de cómo los investigadores hacen por proponer soluciones de diseño que incluyan los valores humanos en los diferentes niveles: macro, meso y micro.

Este estudio basado en la Fabricación Social-inteligente en el entorno industrial, hace referencia al impacto de la tecnología sobre un colectivo, los operadores. Sin embargo, cuando se hace mención a los valores del ser humano, también se están evaluando las necesidades y el bienestar de otros implicados en el entorno como pueden ser los clientes a los que se enfocan los productos y servicios.

En el estudio a nivel macro, el concepto de capacidad de implementación de la innovación coloca al ser humano en el centro de todo el proceso de gestión de la innovación. En el

desarrollo de fábricas conectadas con líneas de producción centradas en el ser humano, se pretende garantizar la satisfacción de los operadores y mejorar su salud. Para ello, se está buscando implantar sistemas de fabricación desde el punto de vista social, basados en una estrategia ganar-ganar. Estos consideran simultáneamente el bienestar y el desempeño para tener un impacto positivo en los operadores, pero también, en la productividad (Fauquex et al., 2015).

El desarrollo tecnológico se ha visto determinado tradicionalmente por un análisis de costo-beneficio. Sin embargo, con el enfoque de la Industria 5.0, esta concepción ya no es aceptable. Las investigaciones resultan en que un diseño mal orientado a los valores de las partes interesadas puede afectar a la transformación tecnológica esperada. Esto se debe a la dificultad por adoptar la tecnología por parte de los operadores. Este hecho comienza a interpretarse como una preocupación importante, ya que puede dar lugar a problemas de carácter ético serios. Es por ello, por lo que se investiga sobre el desarrollo de un marco ético sólido, que guíe la fábrica del futuro (Longo et al., 2020).

5. Referencias

- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing* 2022, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S13677-022-00314-5>
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, 189. <https://doi.org/10.1787/5JLZ9H56DVQ7-EN>
- Aslam, F., Aimin, W., Li, M., & Rehman, K. U. (2020). Innovation in the Era of IoT and Industry 5.0: Absolute Innovation Management (AIM) Framework. *Information* 2020, 11, Page 124. <https://doi.org/10.3390/INFO11020124>
- Bednar, P. M., & Welch, C. (2020). Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. *Information Systems Frontiers*, 22(2), 281–298. <https://doi.org/10.1007/S10796-019-09921-1/FIGURES/2>
- Bhanot, N., Rao, P. V., & Deshmukh, S. G. (2016). An integrated sustainability assessment framework: a case of turning process. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1475–1513. <https://doi.org/10.1007/S10098-016-1130-2>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394. [Doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.08.019](https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.08.019)
- Deguchi, A. (2020). From smart city to society 5.0. *Society 5.0: A People-Centric Super-Smart Society*, 43–65. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_3/FIGURES/5
- Fauquex, M., Goyal, S., Evequoz, F., & Bocchi, Y. (2015). Creating people-aware IoT applications by combining design thinking and user-centered design methods. *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things*, 57–62.
- Hawer, S., Sager, B., Braun, H., & Reinhart, G. (2017). An adaptable model for the factory planning process: analyzing data based interdependencies. *Procedia CIRP*, 117–122.
- Holroyd, C. (2022). Technological innovation and building a ‘super smart’ society: Japan’s vision of society 5.0. *Journal of Asian Public Policy*, 15(1), 18–31. <https://doi.org/10.1080/17516234.2020.1749340>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2019.05.021>
- Inkulu, A. K., Bahubalendruni, M. V. A. R., Dara, A., & SankaranarayanaSamy, K. (2022). Challenges and opportunities in human robot collaboration context of Industry 4.0 - a

- state of the art review. *Industrial Robot*, 49(2), 226–239. <https://doi.org/10.1108/IR-04-2021-0077/FULL/PDF>
- Koch, P. J., van Amstel, M. K., Dębska, P., Thormann, M. A., Tetzlaff, A. J., Bøgh, S., & Chrysostomou, D. (2017). A Skill-based Robot Co-worker for Industrial Maintenance Tasks. *Procedia Manufacturing*, 11, 83–90. [Doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.141](https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.141)
- Leminen, S., Westerlund, M., Rajahonka, M., & Siuruainen, R. (2012). Towards IOT ecosystems and business models. *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking: 12th International Conference*, 15–26.
- Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-Oriented and Ethical Technology Engineering in Industry 5.0: A Human-Centric Perspective for the Design of the Factory of the Future. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10124182>
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013). Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. *McKinsey Global Institute*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/disruptive-technologies>
- Owen, C. L. (1998). Design research: building the knowledge base. *Design Studies*, 19(1), 9–20. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00030-6)
- Özdemir, V., & Hekim, N. (2018). Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “the Internet of Things” and Next-Generation Technology Policy. *OMICS A Journal of Integrative Biology*, 22(1), 65–76. <https://doi.org/10.1089/OMI.2017.0194/ASSET/IMAGES/LARGE/FIGURE3.JPEG>
- Papetti, A., Gregori, F., Pandolfi, M., Peruzzini, M., & Germani, M. (2020). A method to improve workers’ well-being toward human-centered connected factories. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7(5), 630–643. <https://doi.org/10.1093/JCDE/QWAA047>
- Pasisi, J., Gibb, J., & Matthews, J. (2014). Approaching wicked problems through design thinking. *Proceedings of the 28th Australian and New Zealand Academy of Management (ANZAM) Conference: Reshaping Management for Impact*, 1–21.
- Peruzzini, M., Grandi, F., & Pellicciari, M. (2018). How to analyse the workers’ experience in integrated product-process design. *Journal of Industrial Information Integration*, 12, 31–46. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2018.06.002>
- Philbeck, T., Davis, N., & Engtoft, A. M. (2018). Values, Ethics and Innovation - Rethinking Technological Development in the Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_WP_Values_Ethics_Innovation_2018.pdf
- Posada, J., Zorrilla, M., Dominguez, A., Simoes, B., Eisert, P., Stricker, D., Rambach, J., Dollner, J., & Guevara, M. (2018). Graphics and Media Technologies for Operators in Industry 4.0. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(5), 119–132. <https://doi.org/10.1109/MCG.2018.053491736>
- Rahman, M. H., Saad, M., Kenné, J. P., & Archambault, P. S. (2013). Control of an exoskeleton robot arm with sliding mode exponential reaching law. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 11(1), 92–104. <https://doi.org/10.1007/S12555-011-0135-1/METRICS>
- Rizzo, A., Burresti, G., Montefoschi, F., & Caporali, M. (2016). Making IoT with UDOO. *IxD&A*, 30, 95–112.
- Romero, D., Noran, O., Stahre, J., Bernus, P., & Fast-Berglund, Å. (2015). Towards a human-centred reference architecture for next generation balanced automation systems: Human-automation symbiosis. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 460, 556–566. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_64
- Trentesaux, D., & Rault, R. (2017). Designing Ethical Cyber-Physical Industrial Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14934–14939. [Doi.org/10.1016/J.IFACOL.2017.08.2543](https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2017.08.2543)

- Van de Poel, I. (2015). Conflicting values in design for values. *Handbook of Ethics, Values, and Technological Design: Sources, Theory, Values and Application Domains*, 89–116.
- Vernim, S., Bauer, H., Rauch, E., Ziegler, M. T., & Umbrello, S. (2022). A value sensitive design approach for designing AI-based worker assistance systems in manufacturing. *Procedia Computer Science*, 200, 505–516. [Doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.248](https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.01.248)
- Vitali, I., Arquilla, V., & Tolino, U. (2017). A Design perspective for IoT products. A case study of the Design of a Smart Product and a Smart Company following a crowdfunding campaign. *The Design Journal*, 20, S2592–S2604. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352770>
- Wang, H., Lv, L., Li, X., Li, H., Leng, J., Zhang, Y., Thomson, V., Liu, G., Wen, X., Sun, C., & Luo, G. (2023). A safety management approach for Industry 5.0's human-centered manufacturing based on digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2022.11.013>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

