
CAD-CAE-CAM LOS MOTORES DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES CAD-CAE-CAM LOS MOTORES DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

CAD-CAE-CAM THE DRIVERS OF DIGITAL TRANSFORMATION IN INDUSTRIAL PROCESSES

José Gustavo Leyva Retureta,¹ Fernando Aldana Franco,² Ervin Jesús
Alvarez Sánchez³ y Rosario Aldana Franco⁴

RESUMEN

La forma de producción y trabajo en la industria ha cambiado significativamente con el pasar de los años, por lo que es necesario el conocer la forma en que ha ido evolucionando desde el surgimiento de la industria 1.0 hasta la actualidad con la industria 4.0, por lo que el objetivo de este trabajo es dar a conocer la forma en que esto se ha visto reflejado directamente en los procesos de manufactura. Lo anterior mediante una descripción desde la perspectiva de la transformación digital y la forma en que las herramientas de software cad-cam-cae han ayudado a mejorar el análisis del proceso de elaboración de piezas para la industria para finalmente ver cómo todo esto está siendo modificado para entrar en la nueva era, la de la industria 5.0, la cual modificará significativamente la forma en que vivimos.

PALABRAS CLAVE: evolución, manufactura digital, sociedad 5.0, futuro fabricación.

ABSTRACT

The change in the way of production and work in the industry has changed significantly over the years, so it is necessary to know how it has evolved since the emergence of industry 1.0 until today with industry 4.0, so the aim of this paper is to show how this has

¹Ingeniero Mecánico Electricista, maestro en Ingeniería Energética y doctor en Ingeniería. Técnico académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. guleyva@uv.mx <https://orcid.org/0000-0001-5123-0111>

²Ingeniero en Instrumentación Electrónica, maestro y doctor en Inteligencia Artificial. Técnico académico de tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. faldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0003-4532-8782>

³Ingeniero Mecánico Electricista, maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. eralvarez@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0790-0429>

⁴Ingeniera Mecánica Electricista, maestra en Inteligencia Artificial, doctora en Neuroetología, doctora en Educación. Académica de tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. raldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0503-6024>

been reflected directly in manufacturing processes. This is done through a description from the perspective of digital transformation and the way in which cad-cam-cae software tools have helped to improve the analysis of the process of manufacturing parts for the industry to finally see how all this is being modified to enter the new era, that of industry 5.0, which will significantly change the way we live.

KEYWORDS: evolution, digital manufacturing, society 5.0, future manufacturing.

1. INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad ha evolucionado de la mano de la tecnología, pues esta ha sido el medio de avance desde la primera Revolución Industrial (industria 1.0) la cual se remonta a finales del siglo XVIII (es decir, la década de 1780), con la producción de energía mecánica utilizando recursos primitivos, como el agua, el vapor y los combustibles fósiles. En la década de 1870, las fábricas se vieron favorecidas por las líneas de montaje y la producción en masa impulsando la energía eléctrica durante la segunda Revolución (industria 2.0), así mismo, durante la tercera Revolución Industrial (industria 3.0), en la década de 1970, se introdujo el concepto de integración de la automatización para la producción en masa mediante la utilización de la electrónica y las tecnologías de la información (TI) gestando durante este siglo el uso de las computadoras en el diseño, ingeniería y manufactura. En la cuarta fase de la Revolución Industrial (industria 4.0) se hace uso del internet de las cosas (IoT) y la computación en la nube junto con la Inteligencia Artificial (IA) para facilitar la realización de Sistemas Ciber físicos Inteligentes (CPS), que sirven de interfaz en tiempo real entre el mundo virtual y el físico (Fig. 1) (Mourtzis, 2016, p.1).

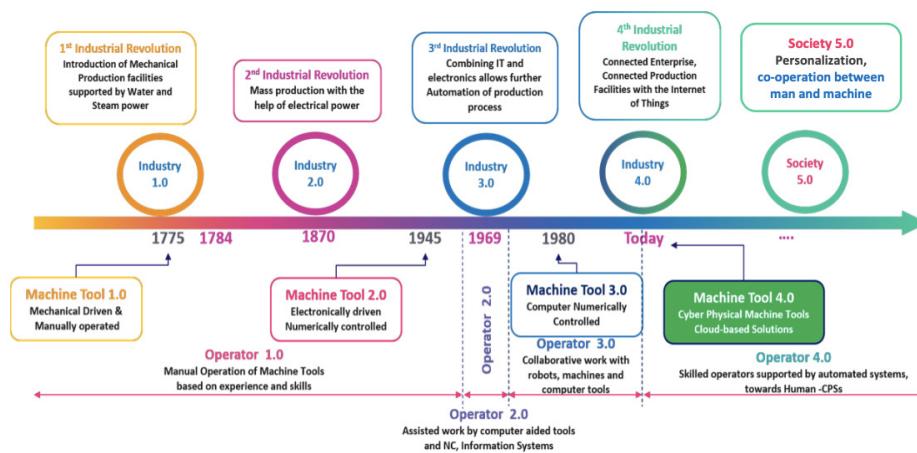


Figura 1. Evolución de la Industria. Fuente: Mourtzis, 2020a.

De esta forma, se devela que el objetivo de la industria 4.0 es aumentar la eficiencia mediante la incorporación de las características de las tecnologías de vanguardia en todos los procesos y activos, así como proporcionar una mejor comprensión de los procesos de fabricación en todos sus centros de producción en tiempo (casi) real (Mourtzis, 2021).

Así pues, la industria de la manufactura y transformación, desde la tercera Revolución Industrial, viene evolucionando de acuerdo con las necesidades que han exigido la implementación de nuevos y mejorados métodos, mediante tecnologías como la denominada CAX (Computer Aided X=Technology), que permiten a los ingenieros y diseñadores potenciar, optimizar y elevar la calidad en los procesos de diseño, manufactura y estudio de cualquier tipo de piezas o productos que son altamente requeridos en las industrias aeroespaciales, automotriz, dispositivos médicos, maquinarias, plásticos, etcétera. El término CAX hace referencia al uso de diversas tecnologías asistidas por computadora, entre ellas se encuentran las siguientes: CAD, CAE, CAM, CAPP, CAQ (Dankwort, 2004, p.1439). Sin embargo, en este trabajo únicamente se consideran las tres siguientes: CAD/CAE/CAM.

1.1. ¿Por qué es importante la transformación digital y su impacto en la manufactura en México?

Particularmente en México, el sector de la manufactura tiene una relevancia importante por tratarse de la actividad que emplea a 6 millones 493 mil personas, ocupando, así, el tercer lugar a nivel nacional en número de trabajadores activos, según datos del Censo Económico 2019 del INEGI. De acuerdo con el mismo censo, existen en el país 579 mil 828 empresas dedicadas a la manufactura y transformación de materias primas en productos (Capgemini, 2022); sin embargo, la United Nations Industrial Development Organization de las Naciones Unidas indica que en marzo de 2020 la manufactura se contrajo 4.8% en México, con una previsión anual de 6.4%.

De esta manera, la Asociación de Tecnología para la Manufactura (AMT) estima una inversión en México de 3 mil 500 millones de dólares a partir de 2022, regresando los niveles prepandemia, pero se necesita que se apueste más a la transformación digital, principalmente las pymes, para que pasen de lo tradicional a 4.0 y así aumenten su productividad (Forbes, 2019). Price Waterhouse Cooper está estimando que la digitalización y automatización inteligente en la industria manufacturera contribuirá con 14% (15 mil millones de dólares) del PIB mundial para el año 2030.

En este sentido (Ynzunza, 2017) realizó un estudio para mapear y conceptualizar los componentes y las tecnologías implícitas con el fin de exhibir cómo están fortaleciéndose los fundamentos teóricos en los que descansan la industria 4.0 y la manufactura inteligente

en México, determinando que el 42.5% de estos busca teorizar los conceptos asociados con la industria 4.0 y la manufactura inteligente, el 33.3% hace referencia a las tecnologías que sustentan las mismas, el 16.1% resalta la importancia de los sistemas ciberfísicos, como los mecanismos o el medio tecnológico que permite la fusión del medio físico con el virtual y el 8.1% está vinculado con las tecnologías que facilitan la integración de la cadena de suministro y valor (Fig. 2).

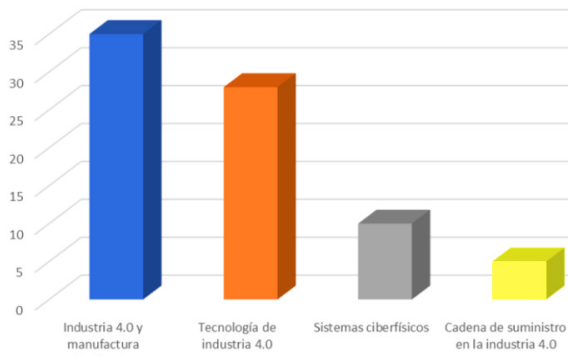


Figura 2. Investigaciones nacionales. Fuente: Ynzunza, 2017.

A nivel internacional, Mourtzis (2020b, p.1927), investiga la evolución, las prácticas actuales y las tendencias futuras de los métodos y herramientas de simulación en el contexto de la fabricación, concretamente en CAX, el diseño de la distribución de la fábrica, el diseño del flujo de materiales e información, el diseño de las redes de fabricación, la planificación y el control de los sistemas de fabricación, la planificación y la verificación (ergonomía, robótica, etcétera), dando como resultado que la tecnología CAX tenga un alto

impacto en las investigaciones referentes a la industria 4.0 (Fig.3).

2. CAD-CAE-CAM

El conjunto CAD-CAE-CAM son un grupo de herramientas tecnológicas que permiten a la industria contar con un diseño asistido por computadora. Es habitual utilizar las siglas CA, del inglés Computer Aided, para designar a las herramientas de software orientadas, fundamentalmente, al diseño (CAD), la fabricación (CAM) y el análisis (CAE) asistidos por computadora en los ámbitos científico e industrial.

Una de las partes fundamentales en un proceso de fabricación es un correcto diseño CAD, estudiando el comportamiento que va a tener dicho componente en su funcionamiento y, si lo requiere, realizar los cálculos necesarios previos para lograr el diseño y determinar el material de este (Manzanares, 2019, p.42).

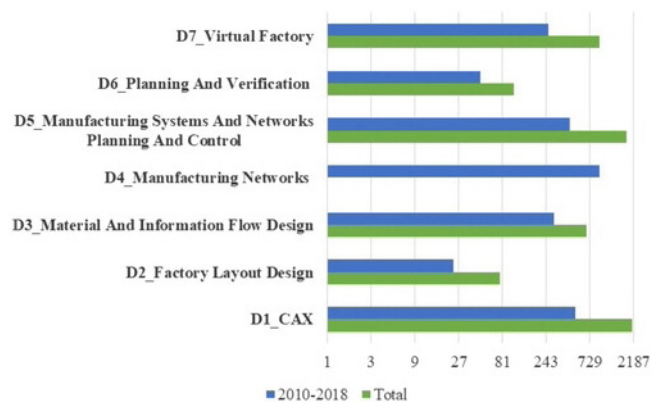


Figura 3. Investigaciones internacionales. Fuente: Mourtzis, 2020b.

Como se observa en la figura 4, para el diseño de un producto es necesario que las 3 tecnologías mencionadas trabajen de forma transversal, pues el CAD es necesario para emplear tanto CAM como CAE, debido a que ambos sistemas requieren un modelo para llevar a cabo ya sea el análisis o la manufactura. A su vez, el CAE necesita el modelo geométrico para determinar la red nodal integrada que se utiliza en el análisis, por último, en el CAM es fundamental la geometría de la pieza para establecer las rutas y los cortes de la máquina-herramienta.

Asimismo, las actualizaciones del modelo a través del diseño asistido por computadora CAD, se propagan a los módulos complementarios del software, esto permitirá comprobar rápidamente los esfuerzos y deformaciones presentes en cada una de las partes a través de ingeniería asistida por computadora CAE; comprobar estrategia y estimar tiempos de mecanizado a través de manufactura asistida por computadora CAM (Chang, 2014, p.169).

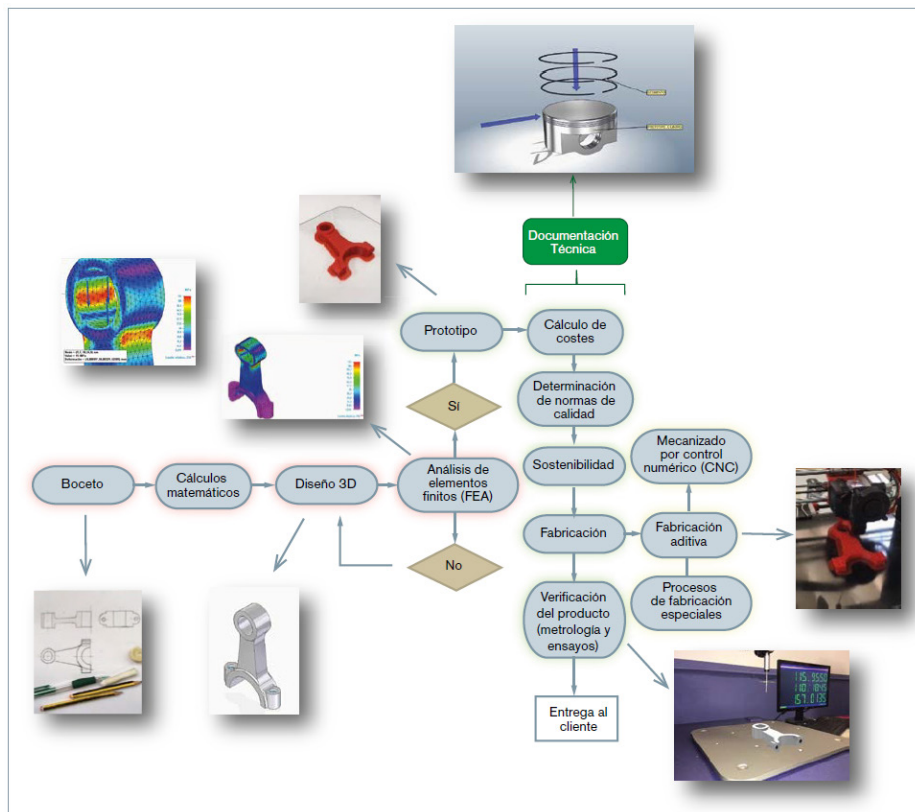


Figura 4. Desarrollo del proceso de fabricación de un pie de biela.
Fuente: Manzanares, 2019

2.1. Manufactura integrada por computadora: antecedente de la cuarta Revolución Industrial

La historia de la manufactura integrada por computadora, CIM por sus siglas en inglés, comienza en 1950 con el uso de las computadoras y los sistemas de control numérico, tanto para los procesos industriales como para los procesos de gestión empresarial, evolucionando continuamente hasta convertirse en sistemas de información digital y convergiendo en los sistemas CIM (Fig. 5).

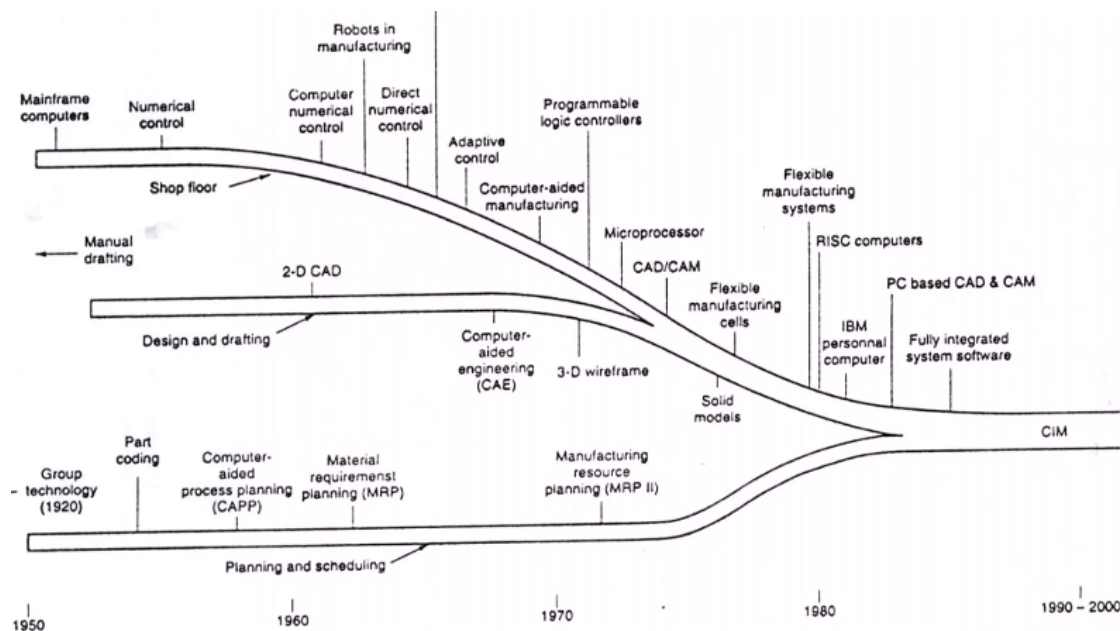


Figura 5. Perspectiva histórica de CIM. Fuente: Reh, 2004

El modelo "Y" presentado en la figura 6, es un modelo de CIM que representa la integración de actividades de las áreas de ingeniería del producto, ingeniería del proceso (o industrial), plan del proceso, producción, mercadeo y ventas. En el lado izquierdo del modelo están enlazadas las actividades de plan y control de la producción, mientras del lado derecho están las actividades técnicas de ingeniería y producción. En la parte superior se tiene el nivel de plan, mientras en la parte inferior aparecen las actividades de implementación de los programas de producción (Tejada, 2001, p.15).

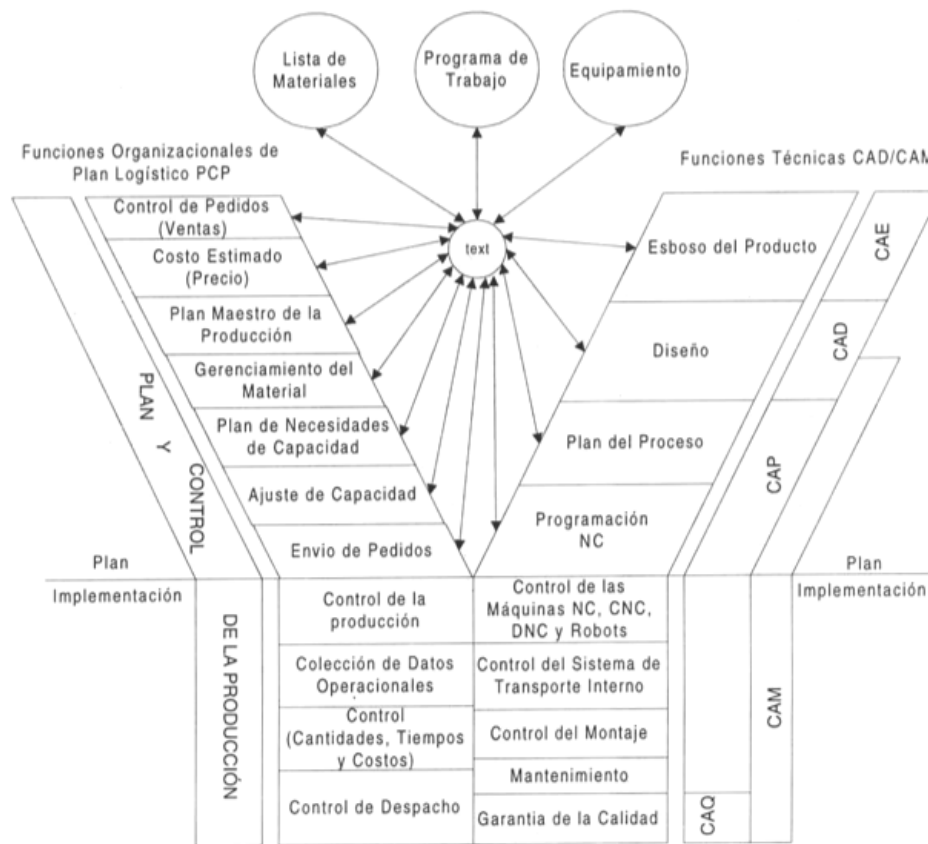


Figura 6. Modelo "Y" de un CIM. Fuente: Tejada, 2001

Esto ha dado espacio al uso de métodos que estén vinculados con la tecnología actual y que permitan el uso de ordenadores, facilitando la tarea de los diseñadores para crear innovadoras y complejas piezas en el menor tiempo posible, a partir de aquí es donde el mundo del CAD CAM CAE juega un importante rol.

La industria 4.0 es un paradigma de transformación del sector industrial, permite la unificación entre el mundo físico y el digital, así como la conectividad entre los diferentes usuarios. Los países industrializados están adoptando este cambio, desarrollando iniciativas para impulsarlo (Zamora, 2020, p.104).

3. INDUSTRIA 4.0

Cuando presentaron el tema en 2011 en la feria de Hannover, el equipo de científicos, expertos de la industria y funcionarios públicos no se podían imaginar de ninguna manera qué significado llegaría a obtener el tema industria 4.0. Ha pasado tiempo desde entonces

y el carácter visionario del concepto se ha desarrollado en un fenómeno real, al menos en parte.

La producción industrial se ha desarrollado, en algunos campos, hacia una interconexión y fabricación digitales, a pesar de que todavía le falte algo de tiempo y recorrido a la definición de industria 4.0. Por eso se entiende la industria 4.0 como la transformación digital de la producción a través de la convergencia y aplicación de tecnología digital (industrial). Tal y como se puede ver en la figura 7, la industria 4.0 (I4.0) viene marcada por los siguientes campos tecnológicos (Fostec, 2022).

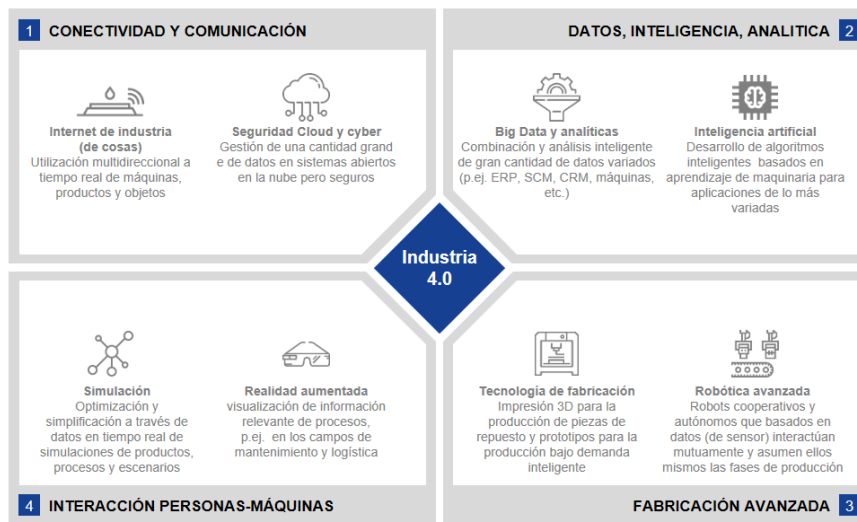


Figura 7. Pilares de la I4.0. Fuente: Fostec, 2022.

Los sistemas CAX están inmersos en los puntos 4 (interacción personas máquinas y 3 fabricación avanzada), estos son un soporte de la industria conectada 4.0 que permiten la creación y gestión de una fuente verdadera de datos (p.ej., modelos digitales de producto) que alimenta diferentes procesos a lo largo del ciclo de vida del producto (Ríos, 2015, p.657).

A pesar de los avances y las oportunidades desveladas en el marco de la I4.0, existen ciertas limitaciones, ya que en la I4.0 los ingenieros se han centrado principalmente en la evolución tecnológica de los sistemas y redes de fabricación y producción, priorizando la flexibilidad y la eficiencia industrial sobre la sostenibilidad industrial y el bienestar de los trabajadores (Xu, 2021, p.530).

3.1 El futuro próximo

En consecuencia, el amanecer de una nueva era para la transformación industrial se encuentra en un futuro próximo. Con un enfoque en tres pilares como la centralidad

humana, la resiliencia y la sostenibilidad (Fig. 8), la visión de la industria 5.0 amplía los principios tecnológicos y comerciales de la industria 4.0 (Cotta, 2021).

La industria 5.0 es la era de la fábrica socialmente inteligente, en la que los cobots interactúan con las personas. La fábrica socialmente inteligente utiliza las redes sociales de la empresa para facilitar la comunicación sin fisuras entre los seres humanos y los robots. Esta nueva era permitirá a los ingenieros utilizar plenamente el panorama tecnológico actual en beneficio de la humanidad, así como socializar las fábricas. En la actualidad, varios países, entre ellos Japón, Estados Unidos y los que integran la Unión Europea, han avanzado hacia el establecimiento de la mencionada era centrada en el ser humano, comúnmente conocida como industria 5.0, término que se extiende también a la sociedad 5.0, resaltando que la I4.0 es una evolución tecnológica en curso, y que está preparando el escenario para la sociedad 5.0 (Mourtzis, 2022, p.1927).



Figura 8. Pilares de la I5.0. Fuente: Cotta, 2021

De forma que, como se observa en la figura 9, la distinción entre el ámbito físico y el digital será menos clara, los recursos físicos se consideran servicios en el paradigma de la fabricación en la nube y son necesarios un acoplamiento y una sincronización más estrechos entre los ciclos de vida del producto, la producción, los recursos y las cadenas de suministro.

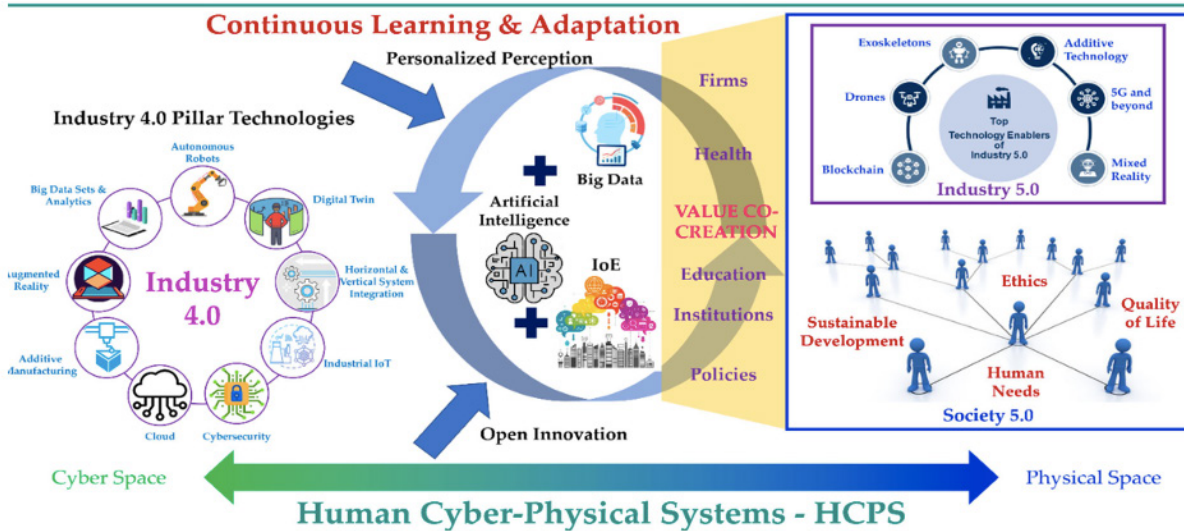


Figura 9. Evolución I4.0 a I5.0. Fuente: Mourtzis, 2022

Para satisfacer las demandas de la industria 5.0, los líderes, los directivos y los empleados de línea tendrán que adaptar y actualizar sus propias habilidades y capacidades (WMF, 2019), como se observa en la figura 10. El Foro Mundial de la Manufactura (WMF) ha identificado diez habilidades críticas que serán necesarias para que el sector manufacturero evolucione.

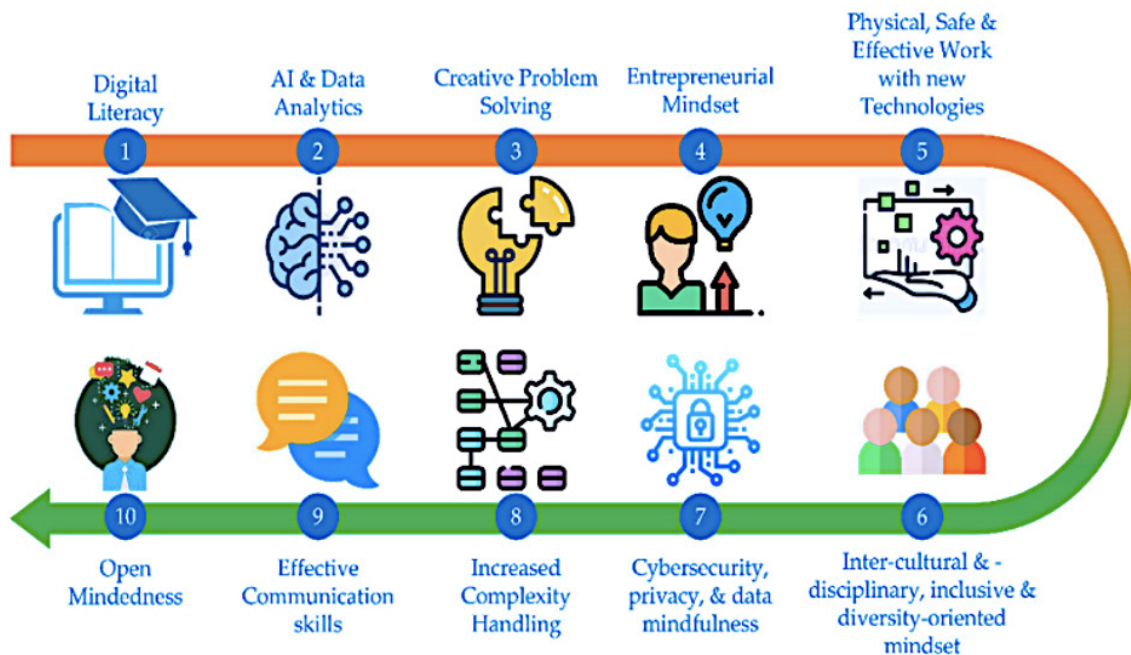


Figura 10. Habilidades necesarias de cara a la I5.0. Fuente: Mourtzis, 2022

De la figura 10, la habilidad 1 hace referencia a la literalidad digital, la cual contempla de forma sustancial los sistemas y bases de datos CAD/CAM, PDM y MPM (gestión de procesos de fabricación), lo cuales se interconectarán e interactuarán con maquetas digitales de la fábrica y soluciones de servicios de productos para sincronizar el mundo físico con el digital.

En la figura 11 se muestra una visión del sistema de fabricación del futuro próximo que incorpora las últimas tendencias en investigación y desarrollo de las TIC y que puede dar un mejor soporte a la customización en masa. Se prevé que, impulsadas por tecnologías disruptivas como el IoT y la tecnología en la nube, las entidades de las cadenas de suministro intercambiarán información sin problemas, colaborarán de forma más eficiente y compartirán datos cruciales en tiempo real (Mourtzis, 2016, p.1).

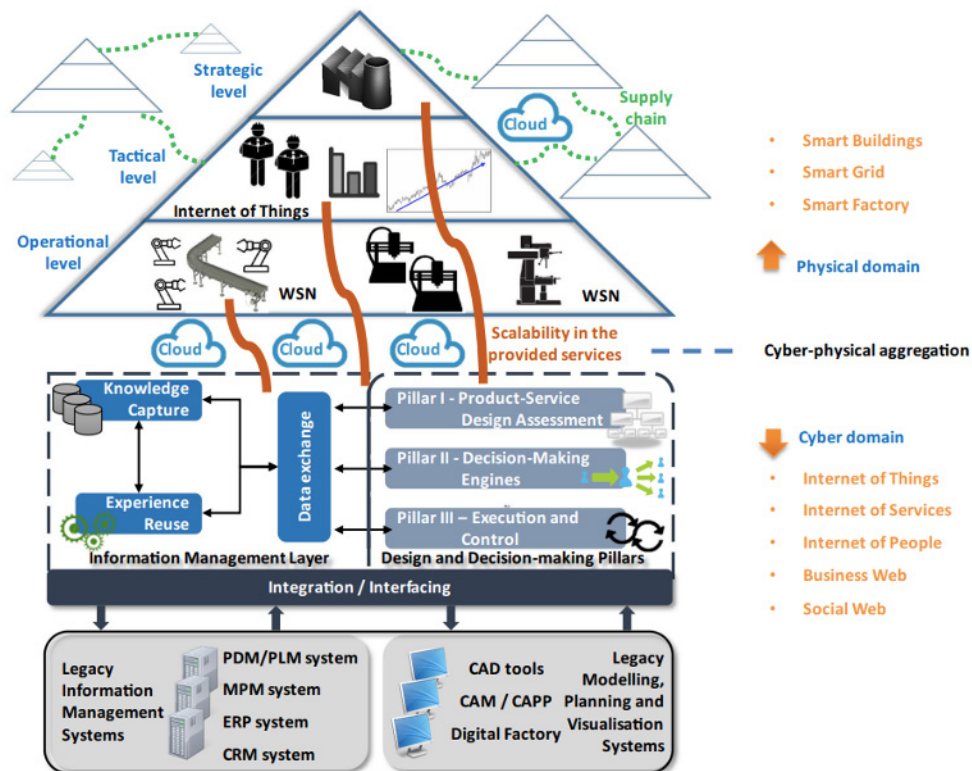


Figura 11. Vista de la manufactura al futuro. Fuente: Mourtzis, 2016

En la figura 11 se identifica claramente que los sistemas y bases de datos CAD CAE CAM, PDM y MPM (gestión de procesos de fabricación) son la base que sostiene la manufactura del futuro siendo el punto de partida en lo que se conoce como el dominio virtual, por lo que estas tecnologías se interconectarán e interactuarán con las maquetas digitales

de la fábrica y las soluciones de servicios de productos para sincronizar el mundo físico con el digital.

4. CONCLUSIONES

Por lo general, una Revolución Industrial está impulsada por avances tecnológicos transformadores, queda en evidencia que los sistemas CAX de la mano de las comunicaciones y la inteligencia artificial han provocado cambios fundamentales en el funcionamiento de la industria a lo largo de la historia.

Gestándose durante la tercera Revolución Industrial, estas tecnologías aportaron significativamente los procesos industriales de cara la cuarta Revolución Industrial, optimizando los sistemas de producción, mejorando la calidad de los productos, reduciendo los costos de operación, aportando valor agregado e impulsando a las empresas a ser más competitivas.

Sin embargo, a medida que la tecnología y los procesos de manufactura avanzan con la transformación digital, la complejidad generada en las actividades de fabricación debido a la creciente variedad de productos requiere un enfoque sistemático durante el diseño, la planificación y el funcionamiento de todo el sistema de fabricación.

De igual manera, se entiende que la cuarta Revolución Industrial se concibe como un avance tecnológico que apunta a la personificación de los procesos, en el cual mediante el internet de las cosas, todos los inmiscuidos tienen forma de aportar; sin embargo, carece de la visión humanística y, en algunos casos, natural, que si bien ya se había manejado a la par mediante los protocolos ambientales no ha sido del todo convergente, por lo que, la quinta Revolución Industrial pretende ser una adecuación más humanista y amigable con el medio ambiente.

Sin embargo, es recomendable que no se tomen todas las definiciones y conceptos de forma literal y como un hecho palpable, pues aunque suenen impresionantes y estén de moda, no son propicias para tomar cualquier decisión empresarial y afrontar los retos tecnológicos, sin tener un estudio, sustentado y consumado, bajo todas las variables posibles de cara a la evolución y transformación digital, por lo que, todo lo mencionado son especulación y aproximaciones a la realidad. Dicho esto, la intención es que este artículo suscite y fomente un debate más amplio y profundo en torno a estos temas, ya que debemos al sector una visión clara del futuro.

5. REFERENCIAS

- Chang, K.-H. (2014). Assembly Modeling. In Product Design Modeling Using CAD/CAE, pp.169–232. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398513-2.00004-X>
- Cotta Jose, & Maija Breque. (2021). Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. In European Commission Directorate-General for Research and Innovation: Vol. First edition. (1ra ed.). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Dankwort, C. W., Weidlich, R., Guenther, B., & Blaurock, J. E. (2004). Engineers' CAX education— Dankwort, C. W., Weidlich, R., Guenther, B., & Blaurock, J. E. (2004, 1 de diciembre). Engineers' CAX education—it's not only CAD. Computer-Aided Design, 36(14), pp.1439–1450. <https://doi.org/10.1016/J.CAD.2004.02.011>
- Forbes (2022). Digitalización: clave para que México siga siendo campeón en manufactura. <https://www.forbes.com.mx/negocios-digitalizacion-clave-para-que-mexico-siga-siendo-campeon-en-manufactura/>
- Fostec (2022). Industria 4.0. FOSTEC & Company. <https://www.fostec.com/es/competencias/estrategia-de-digitalizacion/industria-4-0/>
- Capgemini (2022). Manufactura digital. <https://www.capgemini.com/mx-es/service/digital-services/digital-manufacturing/>
- Manzanares Ruiz. (2019, 14 de julio). Programas informáticos CAD/CAM/CAE usados en la realización de procesos de fabricación y proyectos de fin de estudios. Técnica Industrial, 323, pp.42–48. <https://doi.org/10.23800/10212>
- Mourtzis, D. (2016, 5 de enero). Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customisation era. Logistics Research, 9(1), pp.1–20. <https://doi.org/10.1007/S12159-015-0129-0>
- Mourtzis, D. (2020a, 18 de septiembre). Machine tool 4.0 in the era of digital manufacturing. 32nd European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2020, pp. 416–429. <https://doi.org/10.46354/I3M.2020.EMSS.060>
- Mourtzis, D. (2020b, 4 de julio). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. International Journal of Production Research, 58(7), pp.1927–1949. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636321>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2021, 20 de diciembre). Smart manufacturing and tactile internet based on 5g in industry 4.0: Challenges, applications and new trends. Electronics (Switzerland), 10(24) 1375, pp.1-30. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS10243175>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022, 28 de agosto). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. Energies, 15(17) 6276, pp.1-29. <https://doi.org/10.3390/EN15176276>

- Rehg, J. A., & Kraebber, H. W. (2004). Computer-integrated manufacturing (3er ed.). Pearson Prentice Hall.
- Ríos, J., Hernández, J. C., Oliva, M., & Mas, F. (2015). Product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft. In *Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems, Series Advances in Transdisciplinary Engineering*, Volume 2. pp.657–666. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-544-9-657>
- Tejada Muñoz Guillermo. (2001, 31 de diciembre). Las funciones y redes en una manufactura integrada por computadora (CIM). *ELECTRÓNICA-UNMSM*, 7, pp.15–26. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/electron/article/view/4080>
- WMF (2019). Report 2019: Skills for the Future of Manufacturing. World Manufacturing Foundation. <https://worldmanufacturing.org/report/report-2019/>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021, 18 de octubre). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, pp.530–535. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.10.006>
- Ynzunza C., Izar M., Bocarando J., Aguilar F., & Larios M. (2017, 1 de diciembre). El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. *ConCiencia Tecnológica*, 54, pp.33–45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Zamora, N. S., & Hernández, I. A. L. (2020, 29 de setiembre). La manufactura aditiva como potenciador de los sistemas productivos. *INVENTUM*, 15(28), pp.104–112. <https://doi.org/10.26620/UNIMINUTO.INVENTUM.15.28.2020.104-112>