

Desafíos en la formación de ingenieros industriales en los albores de la industria 5.0

Benegas, Miguel

mbenegas@campus.ungs.edu.ar

Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Industria; Argentina

Camblong, Jorge

jcamblong@campus.ungs.edu.ar

Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Industria; Argentina

Fecha de recepción RIII: 27/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 08/02/2025

RESUMEN

Industria 5.0 es producto de la evolución incremental del modelo 4.0. Sin rasgos disruptivos, este modelo se diferencia a partir de una mayor focalización en valores sociales y ecológicos. Sus desafíos incluyen la heterogeneidad social, la medición del valor ambiental y social y la integración de toda la cadena de valor. Mientras la industria 4.0 aborda la sostenibilidad desde una perspectiva tecnológica, la industria 5.0 adopta un enfoque holístico que coloca al ser humano en el núcleo del proceso productivo. Este cambio de enfoque empodera a la industria para alcanzar metas sociales, además de las económicas. Este contexto trae consigo la necesidad de una educación 5.0 que se centre en la gestión de tecnologías y maquinarias con un enfoque humanista, desarrollando habilidades cognitivas avanzadas y gestión organizacional. Las competencias esenciales incluyen tanto habilidades técnicas y digitales como blandas e inteligencia emocional. Se identifican cinco grupos de competencias clave: habilidades blandas (flexibilidad y competencias sociales), duras (competencias profesionales y habilidades técnicas), cognitivas (habilidades analíticas e inteligentes), emocionalmente inteligentes (autoconciencia y empatía) y digitales (alfabetización e interactividad digitales). La educación 5.0 para ingenieros industriales debe basarse en las tecnologías habilitadoras de la industria 5.0, fomentando competencias cognitivas elevadas tanto en tecnologías como en gestión organizacional. Basándose en lineamientos conceptuales de diversos autores, se propone crear un espacio formativo llamado "Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0" (ExI²50). Este espacio, orientado hacia la producción futura, funcionará como una plataforma educativa y de formación, proporcionando un entorno para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en producción. El ExI²50 busca materializar la visión de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con aprendizaje basado en escenarios que permita que los estudiantes adquieran experiencia práctica en todo el proceso productivo, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados.

Palabras Claves: Industria 5.0; Factor humano; Educación 5.0; Competencias; Fábrica de aprendizaje

Challenges in the training of industrial engineers at the dawn of industry 5.0

ABSTRACT

Industry 5.0 is the product of the incremental evolution of the 4.0 model. Without disruptive features, this model differentiates itself through a greater focus on social and ecological values. Its challenges include social heterogeneity, the measurement of environmental and social value, and the integration of the entire value chain. While Industry 4.0 addresses sustainability from a technological perspective, Industry 5.0 adopts a holistic approach that places the human being at the core of the production process. This change of focus empowers industry to achieve social goals, in addition to economic ones. This context brings with it the need for a 5.0 education that focuses on the management of technologies and machinery with a humanistic approach, developing advanced cognitive skills and organizational management. Essential competencies include both technical and digital skills, as well as soft skills and emotional intelligence. Five groups of key competencies are identified: soft skills (flexibility and social skills), hard skills (professional skills and technical skills), cognitive skills (analytical and intelligent skills), emotionally intelligent skills (self-awareness and empathy) and digital skills (digital literacy and interactivity). Education 5.0 for industrial engineers should be based on the enabling technologies of Industry 5.0, fostering high cognitive skills in both technologies and organizational management. Based on conceptual guidelines from various authors, it is proposed to create a training space called "Engineering Innovation Space 5.0" (ExI²50). This space, oriented towards future production, will function as an educational and training platform, providing an environment for practical and multidisciplinary teaching in production. ExI²50 seeks to materialize the vision of Industry 5.0 through a blended learning factory approach with scenario-based learning that allows students to gain practical experience throughout the production process, from customer request to delivery of developed and manufactured products.

Keywords: Industry 5.0; Human factor; Education 5.0; Competencies; Learning factory

Desafios na formação de engenheiros industriais no alvorecer da indústria 5.0

RESUMO

A Indústria 5.0 é um produto da evolução incremental do modelo 4.0. Sem características disruptivas, esse modelo se diferencia pelo maior foco em valores sociais e ecológicos. Seus desafios incluem heterogeneidade social, medição de valor ambiental e social e integração de toda a cadeia de valor. Enquanto a Indústria 4.0 aborda a sustentabilidade de uma perspectiva tecnológica, a Indústria 5.0 adota uma abordagem holística que coloca os humanos no centro do processo de produção. Essa mudança de foco capacita a indústria a atingir objetivos sociais e econômicos. Esse contexto traz consigo a necessidade de uma educação 5.0, focada na gestão de tecnologias e máquinas com uma abordagem humanística, desenvolvendo habilidades cognitivas avançadas e gestão organizacional. As competências essenciais incluem habilidades técnicas e digitais, bem como habilidades sociais e inteligência emocional. São identificados cinco grupos de competências-chave: soft skills (flexibilidade e competências sociais), hard skills (competências profissionais e competências técnicas), cognitivas (competências analíticas e de inteligência), emocionalmente inteligentes (autoconsciência e empatia) e digitais (alfabetização digital e interatividade). A Educação 5.0 para engenheiros industriais deve ser baseada nas tecnologias facilitadoras da Indústria 5.0, promovendo altas habilidades cognitivas tanto em tecnologias quanto em gestão organizacional. Com base em diretrizes conceituais de diversos autores, propõe-se a criação de um espaço de formação denominado "Espaço de Inovação em Engenharia 5.0" (ExI²50). Este espaço, voltado para a produção futura, funcionará como uma plataforma educacional e formativa, proporcionando um ambiente para o ensino prático e multidisciplinar na produção. O ExI²50 busca materializar a visão da Indústria 5.0 por meio de uma abordagem de fábrica de aprendizagem combinada com aprendizagem baseada em cenários que permite aos alunos ganhar experiência prática em todo o processo de produção, desde a solicitação do cliente até a entrega dos produtos desenvolvidos e fabricados.

Palavras chave: Indústria 5.0; Fator humano; Educação 5.0; Competências; Fábrica de aprendizagem

1- INTRODUCCIÓN

En la transición del paradigma de industria 4.0 al de industria 5.0, uno de los grandes retos consiste en potenciar las habilidades requeridas para los nuevos puestos de trabajo en especial para los futuros ingenieros industriales. Potenciar competencias de las personas potenciando sus habilidades tecnológicas y sus habilidades blandas, mejoraría ampliamente el impacto de este paradigma 5.0 tanto en la industria como en la sociedad. Los cambios tecnológicos implican cambios de comportamiento y esto, con planes adecuados, derivará en un beneficio para todos.

Existe una necesidad de repensar de qué forma los futuros ingenieros industriales adquieren las competencias a la luz de los nuevos desarrollos tecnológicos que tienen un impacto significativo en la forma en que diseñarán los sistemas de producción del futuro.

Los ingenieros industriales como actores en un escenario de producción futuro necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con los desarrollos tecnológicos y organizacionales y los modelos de negocio vinculados a la industria 5.0.

En este artículo, se describen las características de la transición hacia el paradigma de industria 5.0 y se analizan las perspectivas que afronta el factor humano en este proceso. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura. El estudio comienza con la descripción de las características de este operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias para este nuevo escenario.

Además, se analizan las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en el contexto del paradigma 5.0, analizando las características y enfoques necesarios para la misma. Esta debe sustentarse en las tecnologías facilitadoras de la industria 5.0, promoviendo el desarrollo de competencias cognitivas avanzadas en tecnologías, procesos de trabajo y gestión organizacional.

Finalmente, a partir de lineamientos conceptuales enunciados por diversos autores se propone la creación de un espacio formativo que haga más efectiva la formación de los futuros ingenieros industriales. Este espacio busca hacer más concreta la visión abstracta de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con el aprendizaje basado en escenarios.

2- LA TRANSICIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 A LA INDUSTRIA 5.0

Han pasado poco más de 10 años desde que se estableció en Alemania el concepto de industria 4.0. Este paradigma, basado en la idea de fusionar lo físico y lo virtual a través de sistemas ciber físicos e interconectando humanos, máquinas y dispositivos a través del Internet de las cosas (Internet of things – IoT) entre otros habilitadores tecnológicos, hace posible la interconexión horizontal y vertical en toda la cadena de valor, desde el cliente hasta el proveedor, en todo el ciclo de vida del producto, y a través de diferentes departamentos funcionales conformando nuevas redes de valor y ecosistemas (Schwab, 2016a) (Schwab, 2016b) (Walas Mateo, 2023).

En la actualidad, estamos atravesando la madurez del modelo de industria 4.0, desarrollándose una vertiginosa evolución de los sistemas de producción hacia un nuevo paradigma conocido como industria 5.0. Este nuevo modelo, que surge como una versión superadora del modelo industria 4.0, impulsa a empresas productivas tradicionales a migrar hacia entornos de producción inteligentes, que demandan nuevas soluciones para adaptar los procesos productivos e incorporar nuevas prácticas que permitan generar mayor competitividad por parte de las empresas industriales. La evolución hacia un nuevo paradigma desde el modelo industria 4.0, se puede explicar por la dinámica de los sistemas productivos, la digitalización, el aumento de la complejidad en los mercados, la necesidad de dar respuesta a la emergencia ambiental, entre otras cuestiones (Walas Mateo, 2023).

Mientras que la industria 4.0 apunta a generar sistemas productivos cognitivos, la naciente era de la industria 5.0 propone una evolución desde la anterior, para establecer cadenas de valor globales más resilientes, sostenibles y circulares que beneficien a la sociedad en su conjunto.

Una de las primeras cuestiones que genera debate sobre el alcance e implicancias de los nuevos modelos productivos, es sobre el rol de las personas. Particularmente uno de los pilares del modelo 5.0 está en la centralidad de las personas dentro del sistema productivo (Müller, 2020) (Breque et al., 2021).

Breque et al (2021) afirman que una de las transiciones paradigmáticas más importantes que caracterizan a la industria 5.0 es el cambio de enfoque del progreso impulsado por la tecnología a un abordaje completamente centrado en el ser humano. Esto significa que la industria debe tener en cuenta las limitaciones sociales, con el objetivo de no dejar a nadie atrás. Esto tiene una serie de consecuencias, relacionadas con la seguridad y entorno de trabajo propicio, al respeto de los derechos humanos y a las competencias requeridas para los trabajadores.

Walas Mateo & Redchuk (2021) hablan de la oportunidad de complementación y la nueva definición del rol de las personas, trabajando en forma sinérgica con los sistemas tecnológicos.

Asistimos a una transición innovadora que define el ritmo del cambio tecnológico, pero también económico y social. La industria 5.0 “reposiciona” completamente las tecnologías al servicio de las personas y de toda la humanidad (Breque et al., 2021).

Xu et al. (2021) consideran que la industria 5.0 debe entenderse como una extensión de las características principales y factores esenciales diseñados para colocar la industria futura en la nueva sociedad.

La Comisión Europea identificó los seis principales ejes tecnológicos 5.0: soluciones centradas en el ser humano e interacción personalizada humano-máquina, tecnologías inspiradas en la naturaleza y materiales inteligentes, gemelos digitales y simulación en tiempo real, tecnologías seguras para la transmisión, almacenamiento y análisis de datos, inteligencia artificial y finalmente tecnologías para la eficiencia energética, energía renovable, almacenamiento de energía y autonomía confiable (Breque et al., 2021).

En el pasado, la interacción entre el usuario y las tecnologías ha sido analizada desde diferentes perspectivas, abordando las capacidades y limitaciones del operador y las máquinas para definir los criterios para automatizar tareas de proceso y reemplazar completamente a los operadores industriales (Winter et al., 2014).

Es cada vez más posible que la industria 5.0 genere una innovación sin precedentes en la interacción humano-máquina (HMI) partiendo de la creciente presencia de máquinas en la vida cotidiana de las personas y la consiguiente demanda de habilidades específicas en el campo de la HMI y, más generalmente, en el análisis computacional de factores humanos (Nahavandi, 2019).

3- PERSPECTIVAS DEL ROL DEL FACTOR HUMANO EN LA TRANSICIÓN A LA INDUSTRIA 5.0

Aunque existe un acuerdo común sobre la creciente necesidad de continuar con el desarrollo tecnológico y su implementación en nuevos modelos de negocios, un obstáculo importante radica en la percepción y complejidad que se tiene en la sociedad sobre lo que representa la industria 4.0, cómo adoptarla para la práctica industrial, cómo incluir el factor humano en lugar de excluirlo y cómo evaluar su aplicabilidad (Erol et al., 2016).

Es importante determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Las empresas deben evolucionar hacia la industria 5.0 con la premisa de implementar un sistema automatizado balanceado, donde la relación hombre-máquina sea representada ahora como una relación capacidad física-capacidad intelectual (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).

Se relaciona a la industria 5.0 con el desarrollo exponencial de la robótica y de la inteligencia artificial a través de dos enfoques:

1. El primero, es el trabajo en conjunto con el ser humano (Kadir & Broberg, 2021) donde la colaboración activa y el trabajo en sincronía entre el robot y los empleados humanos les permite complementarse mutuamente, combinando la capacidad creativa del ser humano, su experiencia y juicio con la fuerza de trabajo del robot (Østergaard, 2018).
2. El segundo, se refiere a la bioeconomía, como el uso inteligente de recursos biológicos para propósitos industriales en la búsqueda de equilibrio entre la ecología, la industria y la economía, es decir, priorizar la sustentabilidad (Demir et al., 2019).

Como se mencionó anteriormente, la Comisión Europea definió las tecnologías que respaldan el concepto de industria 5.0. Con estas tecnologías se busca empoderar al sector industrial para alcanzar objetivos sociales (Lu et al., 2021); la sostenibilidad, desarrollando procesos circulares que reutilicen y reciclen los recursos naturales, que reduzcan residuos y el impacto ambiental con una mejor eficiencia; y la resiliencia, preparando a las empresas y sociedad contra disrupciones y eventos impredecibles en tiempos de crisis e incertidumbre (Breque et al., 2021).

La necesidad de recopilar más conocimientos y una mejor comprensión del papel que juega el factor humano en conjunto con la tecnología es fundamental. Por lo que preparar a las personas de las empresas y sociedad en general a través de una educación, capacitación y motivación adecuadas en escuelas, universidades, empresas, sociedad civil y el propio gobierno es el gran desafío que enfrentarán las nuevas generaciones en esta nueva era digital (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).

Es por esto por lo que las organizaciones tendrán que desarrollar una nueva cartera de capacidades de transformación digital que permita flexibilidad y capacidad de respuesta a los rápidos cambios necesarios para generar nuevas propuestas de valor para los clientes y transformar los modelos operativos (Berman, 2012).

4- OPERADOR 4.0

En este escenario, nace el concepto de “Operador 4.0”, describiendo una visión futurista de trabajadores inteligentes y capacitados haciendo el trabajo, asistidos por máquinas y herramientas tecnológicas digitales. Tal operador puede utilizar completamente las capacidades digitales y capitalizar las oportunidades emergentes en fábricas habilitadas para la industria 4.0 (Kadir & Broberg, 2021).

Se concibe al operador 4.0 como un operador inteligente y hábil que no solo realiza trabajo “cooperativo” con robots, sino también trabajo asistido por máquinas según sea necesario, mediante sistemas ciber físicos humanos, tecnologías avanzadas de interacción humano-máquina y automatización adaptativa hacia sistemas de trabajo en simbiosis humano-automatización (Romero, Stahre, et al., 2016).

El concepto del operador 4.0 surge en paralelo a la 4° revolución industrial y sus necesidades, y también resultó de la constante evolución de los operadores. Romero, Stahre, et al. (2016) describen la evolución de estos operadores. La primera generación de operadores, operador 1.0, se caracterizaba por el trabajo manual con el uso de algunas herramientas y máquinas que funcionaban manualmente. El operador 2.0 corresponde al trabajo asistido, es decir, el trabajador utiliza el apoyo de herramientas computacionales. Luego, el operador de tercera generación, el operador 3.0, se define como el trabajador cooperativo, en el cual el ser humano se involucra con robots, resultando en un trabajo de colaboración. Finalmente, y de acuerdo con las necesidades actuales, el operador 4.0 corresponde al operador inteligente del futuro que realiza un trabajo asistido a través de la integración humana en los sistemas ciberfísicos.

El operador 4.0 se caracteriza como una proyección futura de un operador inteligente que, dependiendo de la situación y/o necesidad, realiza el trabajo cooperativo con robots y el trabajo asistido por máquinas, a

través de sistemas ciberfísicos, tecnologías avanzadas de interacción hombre-máquina y automatización adaptativa (Romero, Stahre, et al., 2016). De una manera más simplificada, el operador 4.0 se refiere a trabajadores calificados que desarrollan habilidades creativas, innovadoras y de improvisación, sin comprometer los objetivos de producción. Además, a través de la incorporación de sistemas automatizados, también alivian la sobrecarga física y mental (Kaasinen et al., 2020).

Romero, Stahre, et al. (2016) categorizan al operador 4.0 a partir de las tecnologías asociadas y los subdividen en diferentes tipos:

- El Operador Superfuerte corresponde al trabajador que, con el uso de la tecnología, mejora sus condiciones físicas para el trabajo, por ejemplo, usando exoesqueletos.
- El Operador Aumentado y el Operador Virtual utilizan herramientas de Realidad Aumentada y Virtual respectivamente.
- El Operador Inteligente recurre a la inteligencia artificial.
- El Operador Colaborativo utiliza la tecnología para mejorar y facilitar la interacción Hombre-máquina, por ejemplo, mediante el uso de robots colaborativos (Cobots).
- El Operador Social utiliza y comparte su conocimiento con la sociedad.
- El Operador Analítico corresponde al trabajador enfocado en el análisis de datos.
- El Operador Saludable es el operador que ha despertado gran interés de estudio, ya que usa dispositivos de rastreo de bienestar, permitiendo así que se tomen medidas que pongan al ser humano en el centro de la producción de forma saludable y segura (Kaasinen et al., 2020) .

El operador saludable 4.0 surgió como respuesta a las preocupaciones relacionadas con la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores, ya que anteriormente no era posible cuantificar, en tiempo real, el bienestar de los operadores ni su satisfacción en el trabajo.

La visión del operador 4.0 tiene como objetivo crear relaciones basadas en la confianza y la interacción entre humanos y máquinas, permitiendo que esas fábricas inteligentes capitalicen no solo las fortalezas y capacidades de las máquinas inteligentes, sino que también empoderen a sus “operadores inteligentes” con nuevas habilidades y dispositivos para capitalizar plenamente las oportunidades creadas por las tecnologías de la industria 4.0. En este sentido, un sistema de producción centrado en el ser humano se caracteriza por permitir una unificación de la planificación y la implementación, esperando que el operador esté en control del proceso de trabajo y la tecnología, y fomentando la utilización de las competencias humanas (Romero, Stahre, et al., 2016).

Taylor et al. (2020) sostienen que el operador 4.0 pasará de “operador” a “tomador de decisiones”, trabajando con sistemas de producción digitalizados y automatizados y utilizando la creatividad para resolver desafíos inesperados e imprevistos. Siguiendo estas visiones futuristas, Romero et al. (2018) destacan que los futuros operadores necesitarán ser capaces de gestionar diferentes situaciones laborales e interacciones complejas. Por lo tanto, necesitan recibir la información correcta y el conocimiento organizado para adaptarse a sus procesos cognitivos. De manera similar, (Peruzzini et al., 2018) consideran las necesidades del operador 4.0 como fundamentales al adoptar el enfoque centrado en el ser humano para integrar factores humanos en los sistemas de trabajo (Kadir & Broberg, 2021).

El operador 4.0 desempeña un papel clave en la fábrica del futuro, donde las tecnologías permiten que pueda implementar sus capacidades y mejorar las tareas que realiza (Fantini et al., 2020). Este operador 4.0, cuyo rol evoluciona hacia la toma de decisiones y la resolución de problemas, interviene en sinergia con sistemas artificiales en todas las fases del proceso de producción, desde la comprensión de las tareas hasta la toma de decisiones y el rendimiento productivo (Emmanouilidis et al., 2019).

La implementación del operador 4.0 en el ambiente fabril exige nuevas cualificaciones y flexibilidad por parte de los operadores, para que sea posible acompañar la evolución de la tecnología digital y las nuevas fábricas

inteligentes. Una parte integral del concepto del operador 4.0 es, entonces, su relación con las tecnologías de la industria 4.0, es decir, cómo las capacidades cognitivas, sensoriales, físicas e interactivas de los operadores pueden ser potenciadas por la interacción con las diversas tecnologías (Alves, 2020).

Para lograrlo, es crucial adoptar estrategias que apoyen a los trabajadores, tanto a aquellos que ya están familiarizados con las nuevas tecnologías digitales como a quienes no lo están. En cualquier caso, es indispensable reorganizar los procesos de trabajo al incorporar estas tecnologías (Kaasinen et al., 2020).

5- COMPETENCIAS PARA LA PRODUCCIÓN 5.0

Para los escenarios de producción futuros en el sentido de la industria 5.0, deben abordarse competencias que permitan a los futuros gerentes y trabajadores de una fábrica enfrentar los desafíos de un sistema de producción cada vez más digitalizado (Erol et al., 2016).

A nivel de empleados, la industria 4.0 promueve la idea de trabajadores que se centrarán cada vez más en actividades creativas, innovadoras y comunicativas. Las actividades rutinarias, que también incluyen tareas de monitoreo, son asumidas total o parcialmente por las máquinas.

Erol et al. (2016) proponen una taxonomía de las habilidades y competencias requeridas con respecto a los desafíos de la industria 4.0 en base a esta visión del trabajo futuro:

- **Competencias personales:** la capacidad de una persona para actuar de manera reflexiva y autónoma. La competencia personal también comprende la capacidad de aprender (desarrollar habilidades cognitivas), desarrollar una actitud propia y un sistema de valores éticos.
- **Competencias sociales/interpersonales:** se refiere al hecho de que un individuo incrustado en un contexto social, por ejemplo, una organización, requiere la capacidad de comunicarse, cooperar y establecer conexiones y estructuras sociales con otros individuos y grupos.
- **Competencias relacionadas con la acción:** relacionada con la acción de una persona es la capacidad de llevar ideas individuales o socialmente construidas a la acción. Es la capacidad de un individuo para integrar conceptos en su propia agenda para transferir exitosamente los planes a la realidad, no solo a nivel individual sino también a nivel organizacional.
- **Competencias relacionadas con el dominio:** se refieren a la capacidad de acceder y usar el conocimiento del dominio para un trabajo o tarea específica. El conocimiento del dominio incluye metodologías, lenguajes, herramientas que son especialmente importantes para un problema o dominio empresarial y va más allá de lo trivial.

Para los ingenieros, una comprensión profunda de las interrelaciones entre los componentes eléctricos, mecánicos y computacionales será una habilidad vital para desarrollar productos y procesos innovadores y resolver problemas relacionados con la calidad. Tanto los productos como los procesos serán cada vez más diseñados a través de las llamadas representaciones virtuales, lo que requiere una habilidad hacia el pensamiento abstracto y la modelización con el apoyo de software especializado. El software y los datos son elementos clave para la planificación y el control inteligentes de máquinas y fábricas del futuro. Por lo tanto, se requiere que los ingenieros adquieran conocimientos sobre arquitecturas de software de vanguardia, técnicas de modelado y programación. Además, los métodos estadísticos y las técnicas de minería de datos son habilidades clave para los ingenieros de producción del futuro. Los avances en la tecnología de materiales requerirán habilidades relacionadas con nuevos procesos de producción, por ejemplo, la impresión 3D. Los principios lean pueden considerarse una competencia básica que también debe transferirse al nivel técnico.

La educación 4.0 consiste en la combinación de la información y los datos del mundo real y virtual en el ámbito de la enseñanza, pues el conocimiento, las cualificaciones y la formación personal son una parte esencial de la industria 4.0.

La formación y la educación deben estar orientadas a la creación de competencias específicas: tecnológicas, metodológicas, sociales, políticas y actitudinales. Las competencias tecnológicas incluyen las competencias especializadas para áreas específicas y las competencias adquiridas en el ámbito profesional, es decir, la capacidad, ejecución y experiencia de trabajo. Las competencias metodológicas son las habilidades analíticas, estadísticas y de toma de decisiones. Las competencias sociales, políticas y actitudinales corresponden a las habilidades de gestión de equipos, resolución de problemas, trabajo en equipo y capacidad de comunicación. Por último, las competencias de actitudinales se definen por la autoorganización, creatividad, capacidad de trabajo y de aprendizaje, y apertura y disponibilidad para los cambios.

Además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las “soft skills” o “competencias blandas” revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Estas se basan en las experiencias de los operadores y según Bongomin et al. (2020) son: adaptabilidad y capacidad de cambio, autogestión y organización, trabajo en equipo, habilidades sociales y de comunicación, creatividad, liderazgo, mentalidad de mejora continua y formación a lo largo de la vida, capacidad para tomar decisiones, autonomía, flexibilidad, pensamiento crítico y responsabilidad y confianza.

A partir de la industria 4.0 y su evolución a la 5.0 la educación tiene que modificar sus diferentes programas y desarrollo de competencias para que los estudiantes cuenten con las habilidades necesarias para enfrentarse a un mercado laboral y una sociedad que con mayor frecuencia demanda soluciones tecnológicas personalizadas, hechas a la medida de cada usuario y sus necesidades (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).

En definitiva, la educación 5.0 marca dos grandes competencias, las de alta cognición sobre tecnología (duras y digitales) y las de gestión organizacional (blandas y de inteligencia emocional) (Lopes Martínez et al., 2022).

De esta forma el contexto educativo se ve en la obligación de cambiar sus contenidos e innovar sus procesos de enseñanza aprendizaje, para crear las competencias adecuadas que cumplan con las diferentes demandas de la industria y sociedad, así como cubrir necesidades específicas y generales, para poder dar lugar a nuevas tecnologías que sustituirán a las anteriores (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).

Se busca entonces, fomentar el aprendizaje centrado en el estudiante, el uso de tecnologías educativas avanzadas, el desarrollo de habilidades socioemocionales y la integración de enfoques multidisciplinarios en la formación de ingenieros (Velásquez Hernández & Echeverri Flórez, 2023).

6- HACIA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS 5.0

La incorporación de diferentes tecnologías es una realidad indiscutible que está transformando los procesos de producción y generando nuevas exigencias en cuanto a habilidades para los ingenieros. Por ello, es fundamental que su formación se mantenga actualizada y en sintonía con estos cambios, de modo que los profesionales estén equipados para afrontar los desafíos que surgen.

El avance de la industria 5.0, caracterizada por la convergencia de la tecnología, la automatización, y los humanos ha transformado la forma en que se lleva a cabo la producción industrial. La necesidad de profesionales capacitados y especializados en los avances tecnológicos actuales se vuelve apremiante. Además de poseer y desarrollar habilidades blandas correspondientes al área de la inteligencia emocional de las organizaciones y empresas industrializadas

La industria y los ingenieros pueden desempeñar un papel activo en la provisión de soluciones a los desafíos de la sociedad, incluida la preservación de los recursos, el cambio climático y la estabilidad social.

Por lo tanto, es muy importante analizar y comprender la formación de ingenieros para la industria 5.0, identificando los desafíos y oportunidades presentes en el contexto tecnológico y económico actual. Es

fundamental explorar a fondo las necesidades y requerimientos del mercado laboral, así como los elementos que conforman el contexto de la formación educativa y pedagógica profesional.

La educación en ingeniería juega un papel fundamental en la preparación de profesionales capacitados para enfrentar los desafíos productivos del futuro. Además de proporcionar conocimientos técnicos y científicos, la educación en ingeniería debe promover habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad, la resolución de problemas y la colaboración, para fomentar la capacidad de adaptación a los avances tecnológicos y las demandas del mercado laboral.

El futuro de la educación en ingeniería está estrechamente vinculado a los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes de la industria 5.0. Se espera que la formación de los futuros ingenieros se oriente hacia enfoques más prácticos y orientados a proyectos, intentando lograr la integración de tecnologías emergentes, el aprendizaje a distancia y el desarrollo de habilidades transversales, como la resolución de problemas complejos y la comunicación efectiva.

Velásquez Hernández & Echeverri Flórez (2023) identifican cinco enfoques fundamentales que deben estar presentes en la formación de los ingenieros en la era 5.0:

1. Enfoque científico: la formación en ingeniería para la industria 5.0 debe incluir temas de vanguardia en ciencia y tecnología, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la computación en la nube, la ciberseguridad y la robótica. Las metodologías de enseñanza deben fomentar el pensamiento crítico, el análisis de datos y la resolución de problemas, así como la experimentación y la investigación científica aplicada.
2. Enfoque humano: reconoce la importancia de las habilidades blandas y el bienestar de los individuos. La formación de ingenieros debe abordar temas relacionados con la inteligencia emocional, el liderazgo, la comunicación efectiva, la gestión del cambio y la diversidad. Es necesario desarrollar competencias que promuevan el trabajo en equipo, la colaboración multidisciplinaria y la ética profesional. Las metodologías de enseñanza deben fomentar la participación activa de los estudiantes, la resolución de problemas reales y la reflexión sobre el impacto social y ético de la tecnología.
3. Enfoque tecnológico: los ingenieros deben recibir formación en temas como la Internet de las cosas, la realidad aumentada, la fabricación aditiva, la automatización y la gestión de datos. Además, deben estar familiarizados con las últimas tendencias y avances en su campo de especialización. Las metodologías de enseñanza deben incluir el uso de herramientas y software de vanguardia, la simulación y el diseño virtual, así como proyectos prácticos que permitan a los estudiantes aplicar sus conocimientos en entornos tecnológicos reales.
4. Enfoque resiliente: los ingenieros deben ser capaces de gestionar situaciones imprevistas, identificar soluciones alternativas y aprender de la adversidad. La formación en ingeniería debe abordar temas como la gestión de riesgos, la planificación de la continuidad del negocio, la gestión de la cadena de suministro y la seguridad cibernética. Las metodologías de enseñanza deben incluir casos de estudio, simulaciones y ejercicios prácticos que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades de resiliencia y toma de decisiones bajo presión.
5. Enfoque sostenible: los ingenieros deben recibir formación en temas relacionados con la eficiencia energética, la gestión de recursos, la economía circular y la responsabilidad social corporativa. Se debe promover el diseño y la producción sostenible, así como la implementación de prácticas que reduzcan la huella de carbono y fomenten la conservación del medio ambiente. Las metodologías de enseñanza deben incluir proyectos que aborden desafíos ambientales y sociales, así como la sensibilización sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS). Además, es importante fomentar la ética ambiental y la responsabilidad social en la toma de decisiones y la implementación de soluciones tecnológicas en el contexto de la industria 5.0.

Por esta razón, es necesario que el sistema de formación y entrenamiento de las personas en el marco del sistema educativo sea lo más integral posible, de modo que el estudiante vea de manera integral la aplicación y uso de las tecnologías. Un concepto disruptivo es el de las Fábricas de Aprendizaje (Learning Factories en su terminología en inglés) para crear un ambiente realista e integral en la educación en Ingeniería, entrenamiento e investigación (Lopes Martínez et al., 2021).

Las fábricas de aprendizaje representan un entorno de fabricación realista para la educación, la formación y la investigación. En las últimas décadas, se han construido numerosas fábricas de aprendizaje en el ámbito académico y en la industria.

La definición generalmente aceptada fue acordada dentro de la Academia Internacional de Ingeniería de Producción y de acuerdo con ello una fábrica de aprendizaje se define por:

- Procesos que sean auténticos, incluyan múltiples estaciones y comprendan aspectos tanto técnicos como organizativos.
- Un entorno cambiante se asemeja a una cadena de valor real.
- Un producto físico que se está fabricando.
- Un concepto didáctico que comprende el aprendizaje formal, informal y no formal, posibilitado por las propias acciones de los estudiantes.

Dependiendo del propósito de la fábrica de aprendizaje, el mismo se lleva a cabo a través de la enseñanza, la capacitación y/o la investigación. En consecuencia, los resultados del aprendizaje pueden ser el desarrollo de competencias y/o la innovación.

Lopes Martínez et al. (2021) sostienen que si se fomenta el aprendizaje activo o experiencial mediante experiencias como la creación de laboratorios similares a las Fábricas de Aprendizaje, que replican de manera detallada o general un entorno realista e integral de manufactura, se puede avanzar en lo planteado por Günther et al. en 2020, alineado con la educación 5.0, que coloca al ser humano en el centro y en un nivel superior en la gestión de tecnologías y máquinas.

7- INGENIEROS INDUSTRIALES 5.0

Los procesos disruptivos de la industria 5.0 llevan a la necesidad de una transformación del talento humano, lo cual significa desarrollar nuevas competencias para los futuros ingenieros industriales.

Las tecnologías habilitadoras deben estar presentes en este entorno educacional de manera que sea posible el aprendizaje por experiencia o vivencial, como motor impulsor de la transformación del talento humano requerido actualmente.

Como se ha mencionado, además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las soft skills revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Según Deepa & Seth (2013) el 80% del desempeño profesional está determinado por las habilidades blandas (Soft) y solo el 20% por las habilidades duras (Hard), al mismo tiempo existe un consenso en que las competencias o habilidades blandas son en general difíciles de enseñar en el entorno educativo tradicional, lo cual ha traído como consecuencia que una gran parte de los graduados no tengan las habilidades necesarias para enfrentar de forma efectiva los procesos en la vida real, tal como se demuestra en estudios de campo sobre el tema publicados.

Pero si los futuros ingenieros no comprenden cómo las tecnologías pueden aplicarse en la práctica, no promoverán su uso. Por lo tanto, es necesario desarrollar entornos de aprendizaje que garanticen que la

formación se realice con un sentido práctico, siendo un prototipo de la realidad que las personas se encontrarán en el entorno laboral real.

Por ese motivo, las fábricas de aprendizaje han demostrado ser un medio esencial para educar a estudiantes y profesionales en la aplicación práctica de los principios de gestión de la producción.

La práctica de la ingeniería y la gestión se debe lidiar con la incertidumbre, con información incompleta y contradictoria del entorno de una organización. Además, los continuos cambios tecnológicos y organizacionales en el lugar de trabajo también imponen desafíos al individuo.

Sin embargo, el modo predominante de enseñanza es similar a las prácticas de enseñanza desarrollados por décadas, con grandes clases y cursos basados en clases magistrales de una sola disciplina. Por lo tanto, los desarrollos recientes muestran un cambio lento hacia el aprendizaje centrado en el estudiante, como el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos.

El aprendizaje basado en escenarios (SBL, por sus siglas en inglés) está arraigado en la teoría del aprendizaje situado y la cognición. La teoría del aprendizaje situado sostiene que el aprendizaje es más efectivo cuando tiene lugar en su contexto natural, donde el conocimiento adquirido se va a utilizar. Así, el conocimiento puede transformarse en competencias de acción. Kolb afirma de manera similar que el aprendizaje es efectivo cuando cambia constantemente entre “pensar” – un proceso de conceptualización abstracta, “sentir” – basado en gran medida en experiencias, “observar” – un proceso de observación y reflexión y “hacer” – una etapa activa de experimentación (Erol et al., 2016).

El aprendizaje basado en escenarios (SBL) utiliza escenarios, descripciones estructuradas de problemas del mundo real e instrucciones relacionadas, para apoyar el aprendizaje activo. Por lo tanto, los escenarios son el punto de partida para que los estudiantes se sumerjan en un problema del mundo real y en un proceso de búsqueda de soluciones. Durante este proceso, los estudiantes deben aplicar su conocimiento individual y sus habilidades cognitivas y sociales para resolver problemas de manera colaborativa en un entorno seguro. SBL es un proceso iterativo y proporciona numerosas oportunidades para retroalimentación y discusiones (Erol et al., 2016).

Erol et al. (2016) realizan una interesante propuesta para la Universidad Técnica de Viena (TU Wien) combinando una Fábrica de Aprendizaje con un enfoque de Aprendizaje Basado en Escenarios.

El propósito es hacer la industria 5.0 más tangible, en el sentido de que el área básica de problemas y el área de soluciones de la industria 5.0 puedan ser más fácilmente abordadas por practicantes y estudiantes.

Para desarrollar escenarios particulares como base para aprender diferentes tipos de competencias en relación con diferentes áreas problemáticas, desarrollaron un marco de competencia-problema que se ilustra en forma de cubo (figura 1), lo que implica un enfoque tridimensional. La primera dimensión del cubo se refiere a los niveles de gestión de la empresa (Management Level): objetos (sensores, actores, red), automatización y control de máquinas, operaciones y control, fabricación, operaciones y control, planificación de negocios y logística. Los niveles de gestión en combinación con las áreas de proceso que corresponden a la segunda dimensión del cubo (Production Process) proporcionan un mapa completo de las diferentes áreas problemáticas de una empresa manufacturera (diseño, ingeniería, fabricación y montaje de productos), desde el diseño del producto hasta la entrega (Erol et al., 2016).

Para un desarrollo dirigido de escenarios como medio para el aprendizaje orientado a problemas, la tercera dimensión del cubo (Type of Competency) que corresponde a los tipos de competencias (dominio, destrezas, sociales, personales) sirve como punto de referencia. Basado en estas dimensiones, se pueden modelar y abordar diferentes roles y grupos objetivo para el aprendizaje (por ejemplo, gerente, ingeniero, trabajador) y sus competencias requeridas a través de escenarios apropiados.

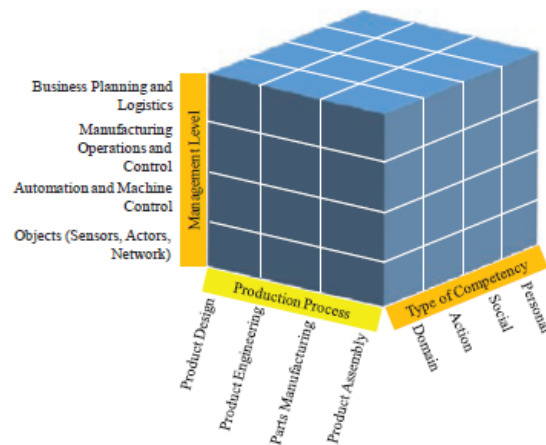


Figura 1 – Cubo problemas y competencias. Fuente: Erol et al. (2016)

8- PROPUESTA

A partir de estas directrices conceptuales se propone la creación de un espacio o laboratorio denominado “Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0” (ExI250). Este ámbito, relacionado con la producción del futuro, funcionará como una plataforma educativa y de capacitación, proporcionando un espacio para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en el ámbito de la producción.

El objetivo de ExI250 es que los estudiantes puedan aprender de manera práctica a lo largo de todo el proceso de producción, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados. Además, ExI250 ampliará su alcance en relación con las competencias de la industria 5.0, como se menciona en secciones anteriores, y abarcará a diferentes grupos objetivo, como gerentes, ingenieros y trabajadores de empresas industriales.

Las principales características propuestas para ExI250 son:

- **I+D+i:** poder desarrollar líneas de investigación vinculadas a la “Producción Inteligente”. Se espera que ExI250 sea un “hub” de modo que proveedores de soluciones tecnológicas, empresas de TI y diseñadores de software puedan desarrollar nuevos conceptos, modelos, tecnologías y sistemas en cooperación con la Universidad y puedan validar resultados junto con empresas manufactureras que aplican tecnología en el área experimental de ExI250.
- **TIC:** proporcionar acceso a nuevas tecnologías y TIC para empresas, especialmente PyMEs, que predominantemente no tienen infraestructura de I+D propia. Si es necesario, expertos académicos de varios campos de investigación pueden apoyar sus actividades de investigación, desarrollo o pruebas.
- **Fabricación:** apoyo a PyMEs o startups, que requieren competencias tecnológicas especiales y capacidades de fabricación o ensamblaje para producir sus prototipos o series pequeñas.
- **Tecnologías blandas o de gestión:** investigación, formación y transferencia de tecnologías vinculadas a la gestión industrial.
- **Enseñanza:** formación en tecnologías habilitadoras 5.0 en carreras de ingeniería y otras carreras tecnológicas. Más allá de eso, la infraestructura se utiliza para construir un vínculo con los actores productivos del territorio.
- **Vinculación:** a través de talleres prácticos y seminarios para graduados y personal de la industria. Especialmente el campo creciente de la digitalización.

9- CONCLUSIONES

Los procesos y tecnologías disruptivas de la industria 5.0 están impulsando una transformación esencial en el talento humano, enmarcada en la educación 5.0, la cual prioriza al ser humano, situándolo en un lugar central y superior en la gestión de tecnologías y máquinas. Un desafío clave es fortalecer las habilidades necesarias para los nuevos roles laborales, especialmente para los futuros ingenieros industriales. Al mejorar tanto las competencias tecnológicas como las habilidades blandas de las personas, se optimizará significativamente la gestión organizacional. Los avances tecnológicos requieren cambios en el comportamiento, y con planes adecuados, esto beneficiará a todos los involucrados.

Es imperativo reconsiderar cómo los futuros ingenieros industriales adquirirán competencias, considerando los desarrollos tecnológicos que impactan profundamente en el diseño de los sistemas de producción del futuro. Como actores en un entorno de producción futuro, los ingenieros industriales necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con el desarrollo tecnológico, organizacional, y los modelos de negocio asociados a la industria 5.0.

Las tecnologías integradas en la formación de los ingenieros industriales deben contextualizarse en los procesos de enseñanza-aprendizaje activos de los estudiantes.

En este artículo, se describieron las características de la transición hacia el paradigma de la industria 5.0 y se analizaron las perspectivas que enfrenta el factor humano en esta transición. Además, se detallaron las características del operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias en este nuevo escenario.

Asimismo, se examinaron las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en este paradigma 5.0 y los enfoques que deben estar presentes en su preparación.

Finalmente, a partir de los conceptos propuestos por Erol et al. (2016), se sugiere la creación de un "Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0" (ExI²50). Este espacio pretende hacer tangible la visión abstracta de la Industria 5.0 mediante un enfoque de Fábrica de Aprendizaje, combinado con el Aprendizaje Basado en Escenarios.

Este entorno académico no se concibe como un simple showroom de tecnologías, ni como un laboratorio de informática, sino como un espacio diseñado para simular de manera generalizable la práctica empresarial común a cualquier tipo de industria o servicio, permitiendo escalar el uso de tecnologías según sea necesario, siempre sobre la base de un funcionamiento adecuado de los procesos.

10- BIBLIOGRAFÍA

- Albrieu, R., Basco, A. I., Brest López, C., de Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0 hacia la transformación industrial argentina BID INTAL*. Nota técnica del BID; 1672.
- Alves, J. M. (2020). *A indústria 4.0 e o desafio sociodemográfico: Propostas para colocar o fator humano no centro da produção Engenharia e Gestão Industrial*. Univerdade Beira Interior.
- Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy and Leadership*, 40(2), 16–24. <https://doi.org/10.1108/10878571211209314>
- Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Oyondi Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. In *Journal of Engineering (United Kingdom)* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/4280156>
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Carro Suárez, J., & Sarmiento Paredes, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 10(24). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727>

- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., & Show, P. L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100048>
- Emmanouilidis, C., Pistofidis, P., Bertoucelj, L., Katsouros, V., Fournaris, A., Koulamas, C., & Ruiz-Carcel, C. (2019). Enabling the human in the loop: Linked data and knowledge in industrial cyber-physical systems. *Annual Reviews in Control*, 47, 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.03.004>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Fantini, P., Pinzone, M., & Taisch, M. (2020). Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers and Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.025>
- García Contreras, J. M., & Mendoza Hernández, L. E. (2023). The impact of Industry and Society 5.0 on education. *UNO Sapiens Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 1*, 5(10), 15–18. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/issue/archivehttps://orcid.org/0000-0001-9082-3358correoelectrónico:eloisamh@uaeh.edu.mx> Fechadepublicación:05/01/2023
- Giugliano, G., Laudante, E., Formati, F., & Buono, M. (2023). Approaches and Technologies for the Human-Centered Industry 5.0. *Proyecta56, an Industrial Design Journal*, 3. <https://doi.org/10.25267/p56-idj.2023.i3.05>
- González-Varona, J. M., López-Paredes, A., Poza, D., & Acebes, F. (2021). Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(1), 15–24. <https://doi.org/10.3926/jiem.3279>
- Gotfredsen, S. (2016, June 15). *Bringing back the human touch: Industry 5.0 concept creating factories of the future*. <https://www.manmonthly.com.au/>
- Hitachi-UTokyo Laboratory. (2020). *Society 5.0 A People-centric Super-smart Society*.
- Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekur, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers and Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.052>
- Kadir, B. A., & Broberg, O. (2021). Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0. *Applied Ergonomics*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103334>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Neumann, G., Günzel, M., Marrero Durán, P. S., Noya Domínguez, L., Martínez Pérez, E., Cruz Ruiz, A., Machado de Armas, D., & Díaz Pereira, D. (2021). La transformación del talento humano en el marco de la Industria 4.0. *REVISTA CUBANA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL*, 2(2), 118–133. <https://orcid.org/0000-0001-6921-2026>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Vilalra Alonso, J., Fleitas Triana, M. S., Neumann, G., & Cruz Ruiz, A. (2022). CREANDO CAPACIDADES: HACIA LA INDUSTRIA 5.0 EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 6(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6817718>
- Lu, Y., Adrados, J. S., Chand, S. S., & Wang, L. (2021). Humans Are Not Machines—Anthropocentric Human–Machine Symbiosis for Ultra-Flexible Smart Manufacturing. In *Engineering* (Vol. 7, Issue 6, pp. 734–737). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018>
- Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0: results of a workshop with Europe's technology leaders*. <https://doi.org/data.europa.eu/doi/10.2777/082634>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-a human-centric solution. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Ortega, A. (2019). *Sociedad 5.0: el concepto japonés para una sociedad superinteligente*. Real Instituto Elcano. <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/sociedad-5-0-el-concepto-japones-para-una-sociedad-superinteligente/>
- Østergaard, E. (2018, October 1). *Industria 5.0: el toque humano vuelve a la manufactura*. <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/industria-50-el-toque-humano-vuelve-la-manufactura>

- Pacaux-Lemoine, M. P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., & Millot, P. (2017). Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Computers and Industrial Engineering*, 111, 581–595.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.014>
- Peruzzini, M., Pellicciari, M., Bil, C., Stjepandić, J., & Wognum, N. (2018, July 3). Transdisciplinary engineering methods for social innovation of Industry 4.0. *25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering*.
- Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J., & Berglund, Å. F. (2016). The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 488, 677–686.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80
- Romero, D., Mattsson, S., Wuest, T., Fast-Berglund, Å., Gorecky, D., & Stahre, J. (2018). *Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0*.
<https://www.researchgate.net/publication/327230622>
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016). Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. *CIE46 Proceedings*, 29–31.
<https://www.researchgate.net/publication/309609488>
- Salgues, B. (2018). *Society 5.0: industry of the future, technologies, methods and tools*. Wiley-ISTE.
- Schwab, K. (2016a). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- Schwab, K. (2016b, January 14). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Weforum.Org/Agenda/2016/01/the-Fourth-Industrial-Revolution-What-It-Means-and-How-to-Respond/.
- Deepa, S., & Seth, M. (2013). Do Soft Skills Matter?-Implications for Educators Based on Recruiters' Perspective. *IUP Journal of Soft Skills*, 7(1), 7–20.
- Taylor, M. P., Boxall, P., Chen, J. J., Xu, X., Liew, A., & Adeniji, A. (2020). Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises. *Computers and Industrial Engineering*, 139.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.047>
- Velásquez Hernández, A. F., & Echeverri Flórez, H. M. (2023). *Hacia la formación de ingenieros para la industria 5.0: desafíos y oportunidades*. 1–12. <https://doi.org/10.26507/paper.2785>
- Walas Mateo, F. (2023). *Nuevos modelos de negocio en el paradigma Industria 5.0. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para optimizar procesos industriales*. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Winter, J., Rönkkö, K., & Rissanen, M. (2014). Identifying organizational barriers - A case study of usability work when developing software in the automation industry. *Journal of Systems and Software*, 88(1), 54–73. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.09.019>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>