

# Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio

Gonzalo Garcés<sup>\*a</sup> y Camilo Peña<sup>b</sup>

Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Concepción<sup>a</sup>. Universidad Central, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil Industrial, Santiago<sup>b</sup>, Chile.

Recibido: 05 julio 2019

Aceptado: 10 marzo 2020

**RESUMEN.** Actualmente la industria está experimentando una transformación hacia los procesos de fabricación inteligente y digitalización completa, surgiendo nuevas tecnologías de información y comunicación como los sistemas cibernéticos, ciberseguridad, internet de las cosas, Big Data, sistema de integración, computación en la nube, fabricación digital e inteligente, entre otros, conceptos que son impulsores de la llamada Cuarta Revolución Industrial, lo que comúnmente se conoce como Industria 4.0. Una parte importante de las tareas en la preparación para la Industria 4.0 es el ajuste de la educación superior a los requisitos de esta visión, en particular, la educación en ingeniería. El objetivo de esta investigación es presentar una propuesta para el docente de ingeniería, que consta de cómo se debería ajustar la educación en ingeniería hacia la industria 4.0 desde el (1) currículo, relacionando los programas de estudios de la universidad en estudio con los cursos existentes y contenidos de Industria 4.0, adecuando así, los componentes necesarios e identificando las brechas para la creación de nuevos módulos; y desde el (2) laboratorio, mediante la teoría de aprendizaje experiencial de Kolb y la implementación de metodologías de enseñanza-aprendizaje, dando como resultado una mejora en el entorno de aprendizaje y en las prácticas que maximizan las habilidades de los alumnos al aprender a través de su propia experiencia. Siendo finalmente esta investigación, un primer paso hacia una visión más tangible de la educación en ingeniería ajustada a la Industria 4.0.

**PALABRAS CLAVE.** Industria 4.0; educación en ingeniería; currículo; laboratorio; enseñanza-aprendizaje.

## Adjust Engineering Education to Industry 4.0: A vision from curricular development and the laboratory

**ABSTRACT.** Currently, the industry is undergoing a transformation towards intelligent manufacturing processes and complete digitization, emerging new information and communication technologies such as cyber systems, cybersecurity, internet of things, Big Data, integration system, cloud computing, digital and intelligent manufacturing, among others, concepts that are drivers of the so-called Fourth Industrial Revolution, which is commonly known as Industry 4.0. An important part of the tasks in preparation for Industry 4.0 is the adjustment of higher educa-

\*Correspondencia: Gonzalo Garcés Rodríguez. Dirección: Avda. Collao 1202 Casilla 5-C, Concepción, Región del Biobío, Chile. Correos Electrónicos: gegarcés@ubiobio.cl<sup>a</sup>, camilo.pena@ucentral.cl<sup>b</sup>.

tion to the requirements of this vision, in particular, engineering education. The objective of this research is to present a proposal for the engineering teacher, which consists of how engineering education should be adjusted to Industry 4.0 from the (1) curriculum, relating the study programs of the university under study with the existing courses and contents of Industry 4.0, thus adapting the necessary components and identifying the gaps for the creation of new modules; and from the (2) laboratory, through Kolb's experiential learning theory and the implementation of teaching-learning methodologies, resulting in an improvement in the learning environment and in practices that maximize the students' skills in learning through their own experience. Finally, this research is a first step towards a more tangible vision of engineering education adjusted to Industry 4.0.

**KEYWORDS.** Industry 4.0; engineering education; curriculum; laboratory; teaching-learning.

## 1. INTRODUCCIÓN

La educación en ingeniería tiene una fuerte conexión con el desarrollo global económico y social (Lucena y Schneider, 2008). Es por esto que se han realizado investigaciones para alinear la educación en ingeniería con las necesidades socioeconómicas de una región, las que indican que un ingeniero requiere habilidades sólidas en las relaciones humanas asociadas con el conocimiento de las ciencias de la ingeniería y la industria contemporánea (Long, Blanchette, Kelley y Hohnka, 2019; Male, Bush y Chapman, 2010; Phase, 2005; UNESCO, 2010). Sumado a esto, no es menor el importante desafío de la educación en ingeniería para el acceso a experiencias prácticas en contextos reales (Forcael, Garcés, Bastías y Friz, 2019; Garcés y Forcael, 2020; Litzinger, Lattuca, Hadgraft y Newstetter, 2011). En lo que respecta a América Latina, se deben transformar las prácticas pedagógicas de educación superior para lograr un equilibrio entre habilidades sociales, conocimiento de la ciencia, y capacitación técnica (Baehr, 2004; Cabrera, 2016).

El concepto Industria 4.0 nació bajo la iniciativa realizada por académicos, industriales y del gobierno alemán, con el objetivo de fortalecer la competitividad del sector manufacturero a través de la convergencia entre la producción industrial y Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) (Carrasco, Meza, Loyer, Morales y García, 2016; Kagermann, Helbig, Hellinger y Wahlster, 2013). La Industria 4.0 hace uso de tecnologías como Internet de las Cosas (IoT en inglés), sistemas cibernéticos (CPS o Cyber Physical Systems en inglés), automatización industrial, conectividad e información continua, ciberseguridad, robótica inteligente, gestión del ciclo de vida del producto (PLM o Product Lifecycle Management en inglés), tecnologías semánticas, Big Data industrial, realidad virtual, fabricación inteligente, entre otras, con el fin de mejorar la productividad de los sistemas industriales de fabricación (Lanza, Haefner y Kraemer, 2015; Monostori, 2014; Posada, et al., 2015). En este sentido, los sistemas de fabricación con conexión cibernética mejoran la eficiencia y optimizan las operaciones, pero también tienen el potencial de cambiar la forma en que los fabricantes y las empresas industriales operan sus negocios. Sin embargo, para los futuros escenarios de la Industria 4.0, también deben abordarse otras competencias que permitan a los gerentes y trabajadores enfrentar los desafíos de un sistema de producción cada vez más digitalizado (Gordón, 2017; Gulati y Soni, 2015; Maguire, 2016; Wee, Kelly, Cattel y Breunig, 2015).

Por lo tanto, la Industria 4.0 ha asumido un papel pionero en tecnología de información industrial, que actualmente está revolucionando la ingeniería de fabricación. Muchos países industrializados también han comenzado la adaptación de su infraestructura industrial para cumplir con los requisitos de la visión de la Industria 4.0 (Çoşkun, Kayıkçı y Gençay, 2019), en donde, una

parte importante de las tareas en la preparación es la adaptación de la educación superior a los requisitos de esta visión, en particular la educación en ingeniería.

Actualmente la formación de profesionales de ingeniería exige competencias para entornos laborales y sociales cada vez más cambiantes, sumado a la evidencia científica que revela que el conocimiento no es estático, sino un proceso dinámico que evoluciona constantemente (Flórez, 1994; Turns, Atman, Adams y Barker, 2005). Es por ello que emerge la preocupación, de parte de las universidades y sus docentes, por realizar una búsqueda permanente que permita desarrollar y/o adaptar nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje (Abele et al., 2015; Baena, Guarín, Mora, Sauza y Retat, 2017; Bhedasgaonkar, Chavan, Kubade y Patil, 2019; Bremgartner, Magalhães Neto y de Menezes, 2015; Jaeger y Adair, 2018; Le y Do, 2019; Sun, Xie y Anderman, 2018), que se definen como procedimientos organizados, formalizados y orientados para obtener un objetivo de aprendizaje establecido, es decir, es la planificación del proceso de enseñanza-aprendizaje para el cual el docente adopta técnicas y actividades que puede usar en el aula, para alcanzar las metas propuestas y tomar decisiones de forma crítica y reflexiva de los resultados de aprendizaje esperados (Forcael, Garcés, Erazo y Bastías, 2018; Marzano, Pickering y Pollock, 2001; Sloat, Sharp y Gallimore, 1997). Debido a esto, surge la necesidad de que el ingeniero actual desarrolle habilidades y competencias ante esta nueva visión del sector industrial.

En la literatura se enumeran diferentes teorías del aprendizaje (Leonard, 2002), comúnmente aplicados en el área de la educación en ingeniería (Bajaj y Sharma, 2018; Konak, Clark y Nasereddin, 2014; Wanjogu, 2016), tales como la Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb (1984), Modelo de teoría del aprendizaje de Felder y Silverman (1988), el modelo de teoría de aprendizaje VARK (Fleming, 2001) y la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Mayer, Heiser y Lonn, 2001). Estos métodos podrían utilizarse para comprender mejor las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), dentro del marco Industria 4.0. El método de aprendizaje experiencial crea un entorno que requiere que el participante se involucre en algún tipo de actividad personalmente significativa (Coşkun et al., 2019), permitiendo al estudiante aplicar los conocimientos previos al desarrollar un compromiso con la práctica (Keys y Wolfe, 1990).

Dicho lo anterior, esta investigación tiene como objetivo presentar una propuesta genérica para adaptar la educación en ingeniería a los requisitos de la Industria 4.0 que consta de dos pilares fundamentales que describen los cambios y mejoras que se recomiendan realizar en las áreas de desarrollo curricular y en el laboratorio. De acuerdo con esto, el primer pilar es la implementación del concepto de Industria 4.0 en el plan de estudio o currículo de varios departamentos de ingeniería, que revela los beneficios sinérgicos en diferentes áreas de experiencia, ayudando a la aplicación de Industria 4.0 en el aula. Por otra parte, surge la necesidad de mover al estudiante desde lo teórico a lo práctico, es por ello que surge la idea del segundo pilar, que es la creación de un laboratorio de Industria 4.0 para los estudiantes, destacando el proceso reflexivo del aprendizaje hacia la práctica (Feisel y Rosa, 2005; Paravizo, Chaim, Braatz, Muschard y Rozenfeld, 2018), que se deriva de la reflexión de los estudiantes sobre las acciones tomadas en experiencias, lo que conlleva al desarrollo de habilidades y competencias que la sociedad y la industria necesita (Coşkun et al., 2019). Para este segundo pilar, se utiliza la teoría del aprendizaje experiencial presentada por Kolb (1984), que considera el aprendizaje como un proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia, mejorando significativamente el aprendizaje de los estudiantes en el laboratorio.

## 2. MARCO TEÓRICO

Desde sus inicios a principios del siglo XIX hasta la segunda guerra mundial, la educación en ingeniería en Alemania se centró fuertemente en la práctica de la ingeniería (Lang, Cruse, McVey y McMasters, 1999). El esfuerzo de guerra exigió la transferencia de tecnología acelerada, realizando grandes avances. El gobierno comenzó a invertir fuertemente en la investigación y el desarrollo de ingeniería, y la resultante alianza entre el gobierno y la sociedad enfatizó mover la ciencia de la ingeniería y las matemáticas hacia la práctica, aumentando así, la competitividad del alumno. En este sentido, la desvinculación entre los profesores y el currículo sobre las necesidades y las expectativas de la industria, han resultado ser una amenaza real para la competitividad en el mercado global (Felder y Brent, 2003; Molderez y Fonseca, 2018).

La competencia internacional y el desarrollo de nuevas tecnologías, han reestructurado la industria y han alterado la forma en que los ingenieros practican la ingeniería (Lang, 1999). Con ello, han surgido nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje, que permiten la formación de profesionales de ingeniería con las competencias exigidas por entornos laborales y sociales cada vez más dinámicos (Prince y Felder, 2006). En este sentido, los ingenieros deben complementar el dominio técnico con habilidades empresariales y de comunicación, y comprender el impacto ético y social de las soluciones de ingeniería (Crawley, Malmqvist, Ostlund, Brodeur y Edstrom, 2007; Fonseca, 2018), en donde, en muchos programas de pregrado de ingeniería tradicionales, no están configurados para manejar un componente hacia la educación de la Industria 4.0 (Coşkun et al., 2019).

Conceptos recientes como Internet de las cosas, Internet industrial, fabricación basada en la nube y fabricación inteligente (Gao et al., 2015), abordan esta visión de la producción digital habilitada en el futuro, y generalmente están incluidos en el concepto visionario de una Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 (Berger, 2014). Todos estos conceptos están relacionados con los desarrollos tecnológicos recientes en los que Internet y las tecnologías de soporte (por ejemplo, sistemas integrados) sirven como una columna vertebral para integrar agentes, materiales, productos, líneas de producción y procesos de personas, y máquinas dentro y fuera de los límites de la organización para formar un nuevo tipo de cadena de valor inteligente, eficiente y conectada.

Esta visión conducirá a una mayor complejidad técnica y organizativa de los procesos de fabricación a nivel micro y macro (Schuh, Potente, Varandani y Schmitz, 2014), lo que impone desafíos sustanciales, especialmente a las empresas manufactureras pequeñas y medianas (Erol, Jäger, Hold, Ott y Sihn, 2016). Los desafíos no se limitan a la inversión financiera requerida para la adquisición de nueva tecnología, sino que también están relacionados con la disponibilidad de personal calificado en todos los niveles de la organización, que puede hacer frente a la creciente complejidad de los sistemas de producción futuras (Erol et al., 2016).

Luo y Störmer (2018) discuten los nuevos requisitos de calificación en la era de la Industria 4.0, tales como: pensamiento interdisciplinario, resolución de problemas, competencia cultural e intercultural, y aprendizaje permanente. Por otra parte, Coşkun et al. (2019), examina los requisitos de la era de la Industria 4.0 para la educación en ingeniería desde la perspectiva del sistema de educación superior, destacando una mayor necesidad de flexibilidad (colaboración interdisciplinaria y habilidades sociales), cooperación de la industria universitaria y sistemas de aprendizaje abierto, como plataformas de aprendizaje en línea y cursos de acceso gratuito en universidades “abiertas”.

Ahora bien, surge la pregunta ¿Qué competencias debieran desarrollar los estudiantes de ingeniería desde la educación superior ante esta nueva visión de Industria 4.0? Ante esta interrogante, Erol et al. (2016), destaca que los futuros profesionales deben tener las siguientes competencias personales, sociales, de acción y dominio ante el concepto de Industria 4.0:

- A nivel personal, la Industria 4.0 conducirá a una mayor automatización de las tareas rutinarias, lo que implica que los trabajadores deben enfrentar el hecho de que sus tareas actuales ya no existirán en el futuro. Tal perspectiva sobre el futuro de su propio trabajo requiere la capacidad de ver el panorama general de la sociedad en su conjunto (desafíos, oportunidades, escasez de recursos económicos y ambientales, entre otros), para el propio desarrollo y el compromiso con el aprendizaje a lo largo de toda la vida (Ganschar, Gerlach, Hämmerle, Krause y Schlund, 2013).
- La competencia social se refiere al hecho de que el individuo en una organización, requiere la capacidad de comunicarse, cooperar y establecer conexiones y estructuras sociales con otros individuos y grupos (Peña, 2019). Para ello, el uso de nuevas metodologías de enseñanza aprendizaje es fundamental para desarrollar la capacidad de trabajo en equipo del estudiante (Forcael et al., 2019).
- La capacidad de una persona relacionada con la acción, se refiere a la capacidad de un individuo para integrar conceptos en sus propios esquemas mentales, para transferir con éxito los planes a la realidad, no solo a nivel individual sino también a nivel organizacional.
- El “conocimiento del dominio” incluye conocimiento teórico y en software, idiomas, herramientas de gestión de proyectos, etc., que son especialmente importantes para un problema o dominio empresarial y que van más allá de lo común (Erol et al., 2016).

Por otra parte, los procesos de producción digitalizados, administrados de manera inteligente, requieren de profesionales que sean capaces de comprender los conceptos básicos de las tecnologías de red y el procesamiento de datos (Klump, Clausen y Ten Hompel, 2013). Además, los métodos estadísticos y las técnicas de extracción de datos son habilidades claves para los futuros ingenieros de producción (EGFSN, 2013; Gehrke et al., 2015). Los avances en tecnología de materiales requieren habilidades con respecto a los nuevos procesos de producción (Cleary y Vickers, 2014; EGFSN, 2013), por ejemplo, la impresión 3D. Por lo tanto, para los ingenieros, una comprensión profunda de las interrelaciones entre los componentes eléctricos, mecánicos y de computadora será una habilidad vital para desarrollar productos y procesos innovadores, y resolver problemas relacionados con la calidad (EGFSN, 2013; Erol et al., 2016; Ganschar et al., 2013).

## **2.1. Ajustar el currículo a la Industria 4.0**

¿Cómo incorporar las tecnologías y conocimientos de la Industria 4.0 al currículo de las diversas especialidades de Ingeniería? Ante esta interrogante, en los últimos años, diversas investigaciones han sido dirigidas a la Industria 4.0 para implementarla en el currículo de las Universidades. Por ejemplo, Dopico et al. (2016) enfatiza el importante papel de la inteligencia artificial como facilitador para la Industria 4.0. Así también, Kagermann (2015) examina los desafíos del proceso de digitalización y creación de valor en la era de la Industria 4.0, enfatizando la importancia de los temas de MINT (matemáticas, informática, ciencias naturales y tecnología). Además, se proponen y elaboran plataformas interdisciplinarias para la colaboración entre comunidades de investigación y la industria con ejemplos aplicados con éxito. Por otra parte, Sackey y Bester (2016) examinan los requisitos de conocimientos y habilidades de la Industria 4.0 para ingenieros industriales y su impacto en los currículos de ingeniería industrial en Sudáfrica, haciendo hincapié en la necesidad de competencias como el análisis de Big Data (grandes volúmenes de datos) y las nuevas interfaces hombre-máquina.

Otro trabajo relevante para el desarrollo curricular es el de Götting et al. (2017), que presentan una metodología para evaluar los programas de estudio de acuerdo con la Industria de Modelo de Arquitectura de Referencia 4.0. Además, Eder (2015) enfatiza el papel de los medios digitales como un medio para individualizar la educación de una manera similar a la Industria 4.0. También, Guo (2015) examina el uso de sistemas de realidad mixta y sistemas virtuales de enseñanza y aprendizaje, especialmente para la educación vocacional en el contexto de la Industria 4.0, en donde su enfoque también podría transferirse a las partes prácticas de los currículos de ingeniería.

Dicho lo anterior, la adaptación de la educación superior a la visión de la Industria 4.0 han sido los nuevos desafíos del laboratorio en los últimos años. Han emergido laboratorios virtuales, descentralizados, en tiempo real. Buhler, Kuchlin, Grubler y Nusser (2000), desarrolló un laboratorio de automatización virtual para estudiantes de ingeniería, creando un entorno de aprendizaje integrado para estudiantes de ciencias de la computación e ingeniería de automatización, donde podían acceder y controlar una variedad de dispositivos a través de Internet. Por otra parte, Zarte y Pechmann (2017) presentan un concepto para enseñar la visión de la Industria 4.0 a estudiantes provenientes de campos que no son de informática (como ingeniería mecánica o industrial) usando un juego de simulación, creando un método para modificar los juegos de simulación convencionales para impartir aspectos clave de la Industria 4.0 a los estudiantes. Teniendo esta perspectiva, derivan requisitos para la educación en ingeniería del futuro, por ejemplo, colaboración y resolución de problemas en entornos virtuales y equipos de robots humanos (Crawley et al., 2007; Potkonjak et al., 2016; Salah et al., 2019). Además de otros resultados importantes, muestran porqué las habilidades sociales interculturales ganarán importancia (Rugarcía, Felder, Woods y Stice, 2000).

Por otra parte, Faller y Feldmüller (2015) aborda los problemas que enfrentan las PYMEs (Pequeñas y Medianas Empresas) que adoptan tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 debido a la falta de habilidades, y propone un concepto de laboratorio para que las universidades de ciencias aplicadas eduquen a los recursos humanos necesarios y altamente calificados para las pymes locales. Anjarichert, Gross, Schuster y Jeschke (2016) propone entornos virtuales de aprendizaje inmersos a la manera de la Industria 4.0, que permite a los equipos internacionales colaborar de forma remota a la inmersión en mundos virtuales sobre la base de interfaces a usuarios naturales. Varios trabajos discuten y muestran cómo se pueden integrar los conceptos y competencias de la Industria 4.0 en la educación en ingeniería utilizando estos laboratorios o fábricas de aprendizaje (Abele et al., 2015; Baena et al., 2017; Prinz et al., 2016; Erol et al., 2016).

Por lo tanto, una serie de investigaciones examina formas de transformar la educación hacia los principios de la Industria 4.0. Al cambiar la forma en que enseñamos ingeniería, consideramos nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje, Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), y nuevos entornos de aprendizaje, moviendo así cada vez más al estudiante a la práctica ingenieril.

Dicho lo anterior, la visión de la Industria 4.0 se implementa con un contenido de los planes de estudio en los cursos existentes y se diseñan nuevos módulos de estudio para ajustar esta visión a la educación en ingeniería (Lang et al., 1999). Las especificaciones del módulo de los cursos existentes se documentan explícitamente y se determinan las áreas de intersección a la visión de la Industria 4.0. Finalmente, los cursos deben estar relacionados con los ejercicios prácticos en el laboratorio. Por otra parte, los materiales didácticos para cursos relacionados con la Industria 4.0 deben estar preparados para capacitar a los estudiantes. Reuniendo unidades teóricas y prácticas, de este modo, el plan de estudios debería permitir a los estudiantes obtener conocimientos básicos de temas relevantes de la Industria 4.0 y experimentar casos reales de negocios con el fin



de proporcionar ejercicios prácticos para la etapa de laboratorio. Además, uno de los cambios claves en los currículos de los programas de ingeniería para ajustarlos a la Industria 4.0, es que los proyectos relacionados con la Industria 4.0 siempre deben implementarse de manera interdisciplinaria (Coşkun et al., 2019; Lang et al., 1999).

Además, los planes de estudio de todos los programas de ingeniería —relacionados con la fabricación—, deben ajustarse de esta manera, pero también los programas como ciencias de la computación, ciencias de los materiales, ciencias de la ingeniería deben mejorarse con cursos electivos o casos de estudio relacionadas con la Industria 4.0 (Coşkun et al., 2019; Heywood, 2005).

## 2.2. Ajustar el laboratorio a la Industria 4.0: Implementando la Teoría de Kolb al laboratorio

¿Cuál es el procedimiento más adecuado para incluir las experiencias prácticas de laboratorio bajo esta visión? Según Kolb (1984), el aprendizaje es el proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia. La creación de un entorno de aprendizaje y práctica que maximiza las habilidades de los alumnos al aprender a través de su propia experiencia. Básicamente, el aprendizaje proviene de tres fuentes principales: aprender del contenido, aprender de la experiencia y aprender de la retroalimentación (Kirby, 1992; Kolb, 1984):

- Aprender del contenido: es el descubrimiento de nuevas ideas, principios y conceptos.
- Aprender de la experiencia: es una oportunidad para aplicar contenido en un entorno real o que simula la realidad.
- Aprender de la retroalimentación: corresponde a los resultados de las acciones tomadas y la relación entre las acciones en el experimento y el desempeño.

Para generar cambios en el comportamiento, las actitudes y el conocimiento, se utiliza un modelo circular de ciclo de aprendizaje experiencial de cuatro etapas desarrollado por Kolb (1984). Este modelo se selecciona como la teoría de aprendizaje más adecuada para ajustar la educación en ingeniería en la visión de la Industria 4.0 (Coşkun et al., 2019). La Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb, que se muestra en la Figura 1, proporciona un marco para diseñar experiencias de aprendizaje activas, colaborativas e interactivas que apoyan este proceso de transformación y pone énfasis en el compromiso sensorial y emocional en la actividad de aprendizaje.

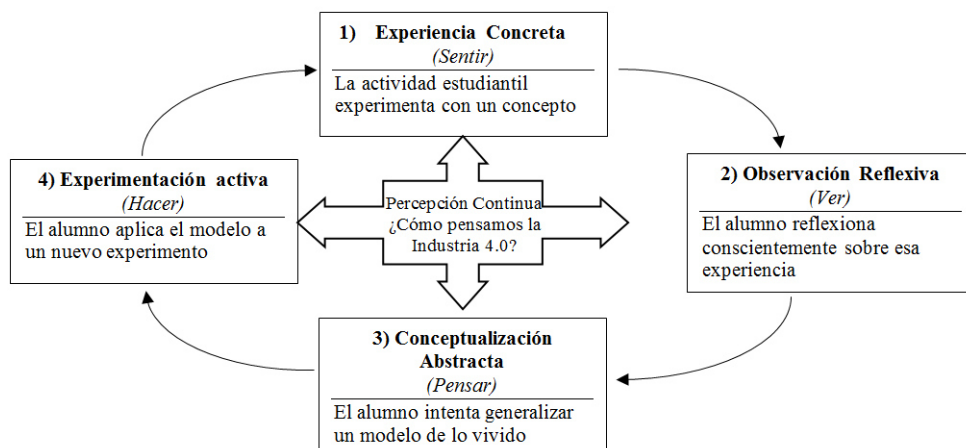


Figura 1. El modelo de estilos de aprendizaje de Kolb y la teoría del aprendizaje experiencial (adaptado de Coşkun et al., 2019; Kolb, 1984; Konak et al., 2014).

El aprendizaje se hace efectivo cuando un estudiante avanza a través de este ciclo de cuatro etapas: (1) tener una experiencia concreta seguida de (2) observar y reflexionar sobre esa experiencia que lleva a (3) la formación de conceptos abstractos (análisis) y conclusiones, que luego se utilizan (4) para probar hipótesis en situaciones futuras, lo que da como resultado nuevas experiencias. Estas cuatro etapas no solo permiten que los estudiantes investiguen exhaustivamente un tema a través de diferentes actividades, sino que también permiten acomodar diferentes estilos de aprendizaje (Konak et al., 2014). Según Kolb (1984), los resultados de conocimiento adquiridos a través de la interacción entre la teoría, la experiencia y el aprendizaje, pueden comenzar en cualquiera de las cuatro etapas. Por ende, los estilos de aprendizaje son producto de las siguientes variables: sentir, ver, pensar y hacer. Cada etapa puede asignarse a estas variables (Konak et al., 2014).

Por lo tanto, según Kolb (1984) el aprendizaje es efectivo cuando el estudiante “*siente*”, basado en la interacción con el objeto de estudio; cuando “*observa*”, que incluye un proceso de reflexión; cuando “*piensa*”, que implica un proceso de conceptualización abstracta, en el cual el estudiante crea un modelo de la experiencia vivida; y cuando “*hace*”, que conlleva una etapa activa de experimentación, en el cual replica el modelo a otro experimento (Schar, 2015).

Al desarrollar un laboratorio en el marco de la educación en ingeniería a la Industria 4.0, según Coşkun et al. (2019), se hace mediante la implementación de la Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb, en donde los estudiantes de ingeniería se dividen en grupos. Los pasos se enumeran a continuación:

1. Experiencia concreta: lo que significa experiencia práctica directa al realizar una nueva tarea, es decir, corresponde a un conjunto de instrucciones paso a paso que demuestran un nuevo concepto. Por lo tanto, los estudiantes siguen instrucciones paso a paso para aprender y obtener una comprensión amplia de la Industria 4.0 y sus aplicaciones.
2. Observación reflexiva: que incluye actividades tales como discusiones y preguntas reflexivas que requieren que los alumnos reflexionen sobre sus experiencias prácticas (ejercicios prácticos), que les permitan trabajar en entornos conformes con la Industria 4.0. Por ejemplo, después de completar la experiencia concreta, para analizar los componentes de una línea de ensamblaje de automóviles, se les puede pedir a los estudiantes que discutan sobre cómo, por qué y qué tipo de robótica tienen que poner en la línea de ensamblaje. Las actividades de observación reflexiva deben fomentar la interacción entre estudiantes para lograr un mayor nivel de reflexión.
3. Conceptualización abstracta: se espera que los estudiantes creen un modelo teórico y una generalización de lo que se realizó. En general, esta etapa podría ser difícil de lograr en actividades prácticas cortas. Las discusiones en clase pueden ser útiles para conectar la experiencia de aprendizaje con la teoría general. En esta etapa, la intervención del docente es importante. Por ejemplo, se les puede pedir a los estudiantes que creen un escenario de digitalización mediante la aplicación de tecnologías robóticas, basadas en los pasos que realizan. En esta parte, también se utilizan aplicaciones de intercambio de ideas como el software de mapas mentales, etc.
4. Experimentación activa: en esta etapa, los estudiantes están listos para planificar y probar otra experiencia concreta. En este momento, pueden realizar esta tarea sin instrucciones detalladas. En donde pueden combinar algunos temas relacionados de la primera experiencia, de modo que los temas posteriores se basen en los anteriores.

Actualmente, universidades en todo el mundo están avanzando hacia la industria 4.0 en los laboratorios, por ejemplo, la Universidad del Bío-Bío, en Chile, tiene un brazo robótico industrial, destinado al desarrollo de prototipos de elementos constructivos mediante impresión 3D (tres



dimensiones) a empresas, que permite desarrollar nuevos componentes y sistemas constructivos en menor tiempo, reduciendo el impacto ambiental, disminuyendo los accidentes laborales, y aumentando la eficiencia y versatilidad (Ahola, Koskinen, Seppälä y Heikkilä, 2015). Por lo tanto, ese robot está destinado a apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico de la edificación, tanto en el ámbito académico, como al servicio de la industria, avanzando así, hacia la Industria 4.0.

En este sentido, otro laboratorio de Industria 4.0, es en la Turkish German University, en Alemania, en donde tienen un Laboratorio (Lego-Lab) (Coşkun et al., 2019), donde los estudiantes trabajan en Diseños de Lego Industriales utilizando Lego Mindstorms (Robots Educativos de Lego), en el que comprenden la aplicación del concepto Industria 4.0 simulando líneas de producción reales. Los sistemas Lego Mindstorms proporcionan computadoras de ladrillo programables, motores modulares y sensores, y una variedad de elementos de Lego Technic, que se pueden usar para simular líneas de producción reales. Los sensores como el tacto, la luz, la distancia, el sonido, los sensores de servo-motor/rotación, y las computadoras de ladrillo programable, proporcionan los componentes necesarios para el desarrollo de modelos de fabricación inteligentes y conceptos que son fundamentales para la visión de la Industria 4.0. Además, establecieron un laboratorio de impresión 3D en el laboratorio de producción visual, creando modelos realistas de fábrica de diseño digital y los comentarios obtenidos son utilizados para remediar los defectos del diseño.

Otro ejemplo, es el de Vienna University of Technology, en Austria, que hace unos pocos años decidió construir la primera Fábrica Piloto de la Industria 4.0 (Erol et al., 2016). El objetivo de esta Fábrica piloto es tener una “producción inteligente”, en donde los proveedores de soluciones de tecnología, los contratistas de Tecnología de Información y los diseñadores de software, desarrollen nuevos conceptos, modelos, tecnologías y sistemas en cooperación con socios científicos, validando los resultados, junto con la tecnología que se aplica a las empresas de fabricación en el área experimental de la fábrica piloto. Además, proporciona acceso a las nuevas tecnologías y las TIC para las empresas, especialmente para las PYMEs, que no cuentan con una infraestructura de investigación propia.

Por lo tanto, los desarrollos en la tecnología en laboratorios, como la impresión 3D, podrían llevar a la transformación de un prototipado rápido a una fabricación rápida y, en última instancia, a una personalización masiva. Como resultado, los esfuerzos sinérgicos de los estudiantes y también de los investigadores, harían una contribución significativa para la adaptación de la educación de ingeniería a la Industria 4.0, ya que, una educación de ingeniería ideal, debería contener la combinación de investigación científica y aplicación industrial.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diseño**

El problema es la complejidad para ajustar la educación en ingeniería a la Industria 4.0 y su visión, tanto en aspectos curriculares como en las prácticas pedagógicas y experiencias prácticas de laboratorio. Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo es desarrollar un procedimiento para adecuar las áreas de desarrollo curricular y el laboratorio, mediante aprendizaje experiencial y metodologías de enseñanza-aprendizaje.

Así, se tienen las siguientes propuestas:

P1 – Al establecer una matriz de relación entre cursos existentes y contenidos de Industria 4.0, es posible adecuar los componentes necesarios e identificar brechas para la creación de nuevos módulos.

P2 – A través de aprendizaje experiencial es posible clasificar y establecer las experiencias prácticas del laboratorio.

En esta parte, se presenta una propuesta de un marco genérico de la educación de ingeniería de la Industria 4.0 para la Universidad donde se desarrolló el estudio, como se ve en la Figura 1. El marco consta de dos etapas principales: el currículo y el laboratorio. Estos pilares están interrelacionados e incluso dependen entre sí. Además, están integrados por las tecnologías y métodos de la Industria 4.0 que se llevan a cabo en conjunto con la investigación científica, las ideas y los prototipos desarrollados, y los proyectos en ejecución en la Universidad.

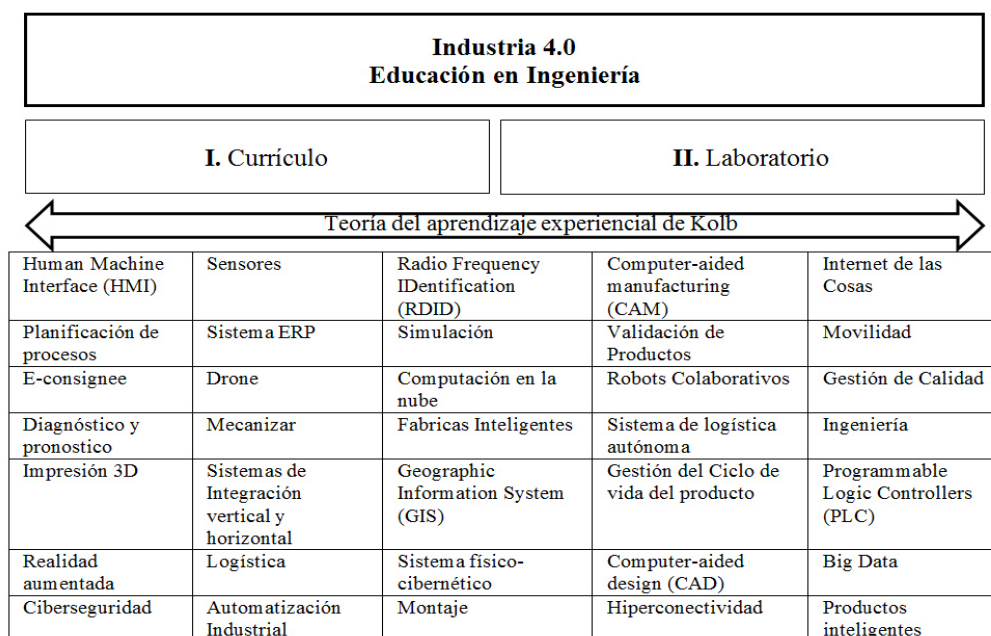


Figura 1. Marco genérico de la Industria 4.0 para la Educación en Ingeniería (Adaptado de Baena et al., 2017; Coşkun et al., 2019).

### 3.2 Muestra

Se recopilaron los antecedentes de una Universidad pública regional en Chile, acreditada según CNA (Comisión Nacional de Acreditación), con más de 50 años de trayectoria, más de 10 mil alumnos, y con más de 300 académicos (JCE o Jornadas completas equivalentes).

Para la revisión documental se seleccionaron 6 programas de estudio y 57 programas de asignatura (ver punto 4.1 resultados), que relacionan la Industria 4.0 en función perfil de egreso del alumno, o que están sujetos a cambios para adaptarse a los requisitos de la Industria 4.0. Los criterios de selección de los programas fueron: programas en actualizaciones curriculares o actualizadas, disponibilidad de los registros académicos formalizados (programas), uso intensivo de laboratorios, y número de alumnos matriculados en el programa.

Dicho lo anterior, se definen los cursos impartidos en la Universidad, que están relacionados con la Industria 4.0, o que están sujetos a cambios para ajustarse a los requisitos de la Industria 4.0. La Tabla 1 incluye datos sobre cinco Programas de Estudio (PE) de ingeniería: Ingeniería Informática (II), Ingeniería Mecánica (IM), Ingeniería en Automatización (IA), Ingeniería Industrial (ICI), Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEE) e Ingeniería Civil (IC).

Cabe mencionar que la participación de al menos un académico por programa fue fundamental, para validar los objetivos, contenidos y resultados de aprendizaje de los programas de asignatura y las tecnologías involucradas, siendo académicos que se vinculaban en la formación docente, en trabajos de investigación en docencia universitaria, y cuyo principal tema de investigación es el concepto de Industria 4.0. El análisis se realizó durante la vigencia del período académico 2018-2 — 2019-1.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Currículo

En la Tabla 1 se enumeran los cursos impartidos en la universidad seleccionada, que están relacionados con la Industria 4.0, o que están sujetos a cambios para adaptarse a los requisitos de la Industria 4.0 - en función de los objetivos, contenidos, resultados de aprendizaje, tecnologías y herramientas usadas en clases y en los laboratorios. La tabla incluye datos sobre seis Programas de Estudio (PE) de ingeniería que se relacionan con los cursos en la Tabla 1.

Tabla 1. Cursos relacionados con la industria 4.0 en la Universidad en estudio.

PE	Curso	II	IM	IA	ICI	IE	IC
Ingeniería Informática (II)	Introducción a la Ingeniería	X	X	X	X	X	X
	Programación Orientada a Objeto	X					
	Estructura de Datos	X		X			
	Modelamiento de Procesos de Información	X		X			
	Sistemas Digitales	X		X		X	
	Teoría de Sistemas	X			X		
	Base de Datos (Administración y programación)	X					
	Inteligencia Artificial	X					
	Ingeniería de Software	X			X		
	Arquitectura de Computadores	X					
	Comunicación de Datos y Redes	X		X			

PE	Curso	II	IM	IA	ICI	IE	IC
Ingeniería Mecánica (IM)	Dibujo Mecánico		X				X
	Electrotecnia		X		X		X
	Mecánica Aplicada		X				X
	Máquinas Eléctricas		X			X	
	Procesos CAV		X				
	Diseño de Elementos de Máquina		X				
	Producción		X		X	X	
	Taller Diseño Mecánico		X			X	
	Resistencia de Materiales		X				X
	Procesos de Manufactura		X				
	Elementos Máquinas		X				
Ingeniería en Automatización (IA)	Señales y Sistema	X		X	X	X	
	Modelación y Simulación de Procesos			X	X		X
	Sistemas Electrónicos Digitales		X	X		X	
	Procesamiento Digitales de Señales			X			
	Laboratorio de Sistemas Electrónicos			X		X	
	Integración del Medio Ambiente y Tecnología FIP			X			
	Laboratorio de Control			X		X	
	Comunicación y Redes de Computadores	X		X			
	Robótica			X			
	Identificación de Sistemas	X		X		X	
	Redes de Datos Industriales	X		X			
Ingeniería Industrial (ICI)	Software para Ingeniería Industrial	X			X		
	Teoría de Sistemas	X			X		
	Electrotecnia		X		X		X
	Métodos de Producción		X		X	X	
	Modelamiento de Sistemas Informáticos	X			X		
	Taller de Sistemas Productivos		X		X	X	
	Simulación de Procesos			X	X		X

PE	Curso	II	IM	IA	ICI	IE	IC
Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEE)	Teoría de Circuitos					X	
	Taller de Sistemas Productivos		X		X	X	
	Laboratorio de Fundamentos de Ingeniería Eléctrica					X	
	Análisis de Sistemas	X		X		X	
	Laboratorio de Máquinas Eléctricas		X			X	
	Control Automático			X		X	
	Electrónica			X		X	
	Producción		X		X	X	
	Sistemas Digitales	X		X		X	
	Laboratorio de Diseños		X				
	Microprocesadores (estructura y programación)					X	
Ingeniería Civil (IC)	Tecnología de Materiales		X				X
	Dibujos Asistido por Computador		X				X
	Electrotecnia		X		X		X
	Métodos de Simulación en Ingeniería			X	X		X
	Técnicas y Procesos Constructivos						X
	Análisis de Sistemas de Transporte						X

#### 4.2 Laboratorio

La idea es identificar la progresión utilizada de metodologías de enseñanza-aprendizaje, para brindarles a los docentes de ingeniería una guía para determinar qué metodología aplicar, para llevar a los alumnos de la teoría a la práctica. Sobre la base de lo anterior, la Tabla 2 presenta la progresión de metodologías de enseñanza-aprendizaje que permitirían obtener competencias y atributos personales y profesionales de los estudiantes de ingeniería, las que pueden estar relacionadas con una o más etapas del aprendizaje experiencial de Kolb (1984) y resultados de aprendizaje identificados (ver Tabla 2).

Tabla 2. Metodologías de enseñanza-aprendizaje identificadas en función de la Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb (1984).

Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb	Progresión de Metodologías Identificadas	Resultados de Aprendizajes Identificados
Experiencia Concreta (Sentir)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase expositiva</li> <li>• Tutoría</li> <li>• Mapa conceptual</li> <li>• Diagrama V</li> <li>• Portafolio</li> <li>• Seminario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de nuevas tecnologías en la industria 4.0.</li> <li>• Comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un entorno global, económico, ambiental, en un contexto social.</li> <li>• Conocimiento en el uso de herramientas modernas, necesarias para la práctica de Industria 4.0.</li> </ul>

Observación Reflexiva (Ver)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller</li> <li>• Lluvia de ideas</li> <li>• Debate</li> <li>• Mesas redondas</li> <li>• Foro virtual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad reflexiva del proceso de fabricación y sus componentes.</li> <li>• Capacidad para identificar, formular y resolver problemas en la industria 4.0.</li> <li>• Habilidad para comunicarse efectivamente.</li> <li>• Concebir sistemas y procesos a la Industria 4.0.</li> </ul>
Conceptualización Abstracta (Pensar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizaje basado en problemas (PBL)</li> <li>• Caso de Estudio</li> <li>• Simulación</li> <li>• Aprendizaje Colaborativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos.</li> <li>• Diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas dentro de restricciones realistas.</li> <li>• Diseñar sistemas y procesos a la industria 4.0.</li> <li>• Razonamiento analítico y resolución de problemas.</li> </ul>
Experimentación activa (Hacer)	Aplicar lo aprendido al Laboratorio de Industria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para aplicar los conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería a la Industria 4.0.</li> <li>• Capacidad de integrar equipos multidisciplinares.</li> <li>• Aprendizaje a largo plazo.</li> <li>• Implementar, operar sistemas y procesos a la Industria 4.0.</li> <li>• Conocimiento práctico de la Industria 4.0.</li> <li>• Replicar el modelo a otros experimentos.</li> </ul>

## 5. DISCUSIONES

Los cursos de programación en la Facultad de Ingeniería deben ajustarse de manera que no solo introduzcan lenguajes de programación de bajo nivel, sino también nuevos lenguajes de programación que son más comunes en las comunidades de inteligencia artificial y ciencia de la información como Python (lenguaje de programación) y R (software estadístico). Por ende, las habilidades de programación de los estudiantes de ingeniería se deben mejorar en la programación orientada a objetos en un curso común para todas las disciplinas de ingeniería.

Por otra parte, para el curso de “Proyecto de Ingeniería” de cada carrera, debería ser para todos los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, es decir, permitir que los estudiantes de diferentes disciplinas de ingeniería definan y trabajen en un mismo proyecto. El curso debería requerir la colaboración de docentes de diferentes programas de ingeniería, para que los estudiantes puedan crear equipos de proyectos que contengan estudiantes de diferentes disciplinas. De esta manera, es posible realizar proyectos más realistas e interesantes.

Las brechas factibles de identificar según los cursos relacionados con la industria 4.0 en la Universidad (Tabla 1), es donde ciertas tecnologías como sistemas inteligentes, sistemas de hardware (aplicaciones industriales) y ciberseguridad, deberían ser implementadas o integradas. Esto como resultado de la identificación de tecnologías y la asociación de esta a un programa asignatura por parte del experto. Por ejemplo, ciberseguridad es necesaria para el análisis, confidencialidad y valor comercial, orientado a la protección de comunicaciones inalámbricas y la seguridad de los sistemas en la nube. Así, en Ingeniería Informática (II) las tres áreas de especialización han sido diseñadas para preparar a los estudiantes para los desafíos de la Industria 4.0. También cursos como aprendizaje automático, inteligencia artificial, métodos de análisis de datos, sistemas y protocolos de seguridad, seguridad de red, privacidad, seguridad de datos y administración de seguridad, sistemas integrados, tecnología de automatización industrial, robótica industrial y sistemas en tiempo real (Coşkun et al., 2019). A medida que los sistemas de la Industria 4.0 crezcan, se verá cada vez más entornos de fabricación inteligentes y autónomos. Para diseñar e implementar tales sistemas, los estudiantes de ingeniería deben ser competentes en métodos de inteligencia artificial y aprendizaje automático.



La metodología de investigación utilizada, puede aplicarse a diversas tendencias tecnológicas globales como sustentabilidad, Big Data y Data Science, Building Information Modeling (BIM), innovación, emprendimiento de base tecnológica, etc., ya que utilizan modelos probados a nivel mundial, independientemente del modelo educativo o del enfoque de competencias que utilice la institución. El diseño usado es un aporte novedoso para relacionar la industria 4.0 a la educación en ingeniería, presentando una propuesta de procedimiento para el docente que describen las mejoras que en las áreas de desarrollo curricular y el laboratorio, mediante la Teoría de aprendizaje experiencial de Kolb y metodologías de enseñanza-aprendizaje. Permitiendo, además, un entorno de aprendizaje en el aula y prácticas que maximizan las habilidades de los alumnos al aprender a través de su propia experiencia y de conocimientos previos. Con ello, se logra alinear las experiencias prácticas de laboratorio con los resultados de aprendizaje esperados, y justificar la incorporación de equipos, capacitación de funcionario y docentes, e inversión de un Campus Universitario.

Es importante destacar, que no corresponde clasificar las metodologías de enseñanza en solo una de las fases del aprendizaje experiencial (Kolb, 1984), ya que, esto podría representar un error conceptual. Cada metodología puede comprender las cuatro fases propuestas por Kolb. Y según lo visto en la Tabla 2, ocurre lo mismo en cuanto a los resultados identificados para cada etapa.

## **6. CONCLUSIONES**

En esta investigación cualitativa se propuso un marco genérico para la educación de la Industria 4.0, que consiste en implementar componentes al currículo y al laboratorio, para ajustar la educación de ingeniería a la visión de la Industria 4.0. En el componente del currículo, se determinó la relación que existe entre los distintos programas de ingeniería en la universidad de estudio, que vinculan la Industria 4.0 en sus planes de estudio. En el siguiente paso, se aborda cómo debería plantearse un laboratorio adaptado a la Industria 4.0, utilizando la Teoría del aprendizaje experiencial de Kolb, siendo de gran importancia para ajustar la educación en ingeniería a la visión de la Industria 4.0, empleando además metodologías de enseñanza-aprendizaje, con el fin de mejorar la experiencia concreta (sentir), la observación reflexiva (ver), la conceptualización abstracta (pensar), y la experimentación activa (hacer), y así preparar al estudiante desde lo teórico a lo práctico y desarrollando tanto habilidades interpersonales como profesionales.

Las fábricas de aprendizaje son un enfoque prometedor para el desarrollo de competencias. La vinculación de las estrategias de aprendizaje y las últimas tendencias en la fabricación, permite la capacitación, la investigación y la educación en diferentes áreas de la ingeniería. Por lo tanto, los estudiantes deben adquirir experiencias prácticas en aplicaciones industriales antes de graduarse, para poder entender y seguir los problemas y desafíos en la implementación de aplicaciones de la Industria 4.0 mientras aún están estudiando.

Dicho lo anterior, el docente de ingeniería debe comprender lo que la industria y el mercado a nivel internacional demandan del futuro ingeniero, desde el lenguaje que utiliza hasta la forma en que transmite el conocimiento, para así motivar al estudiante y lograr que el aprendizaje ocurra de manera efectiva. Las competencias y habilidades que son demandas en el siglo XXI, son primordiales para los futuros profesionales, tales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas reales, la creatividad, las habilidades de colaboración y de comunicación, las capacidades metacognitivas, la habilidad de convertir las dificultades en oportunidades, etc. Es por ello, se hace necesario que los estudiantes en un futuro escenario de producción, desarrollen competencias específicas para hacer frente a los nuevos desafíos relacionados con los desarrollos tecnológicos e informáticos, y los modelos de negocios (Peña, Vidal, Garcés y Silva, 2020). Por lo tanto,

existe una necesidad general de repensar las competencias, a la luz de los nuevos desarrollos tecnológicos que tienen un impacto significativo en la forma en que se diseñan los sistemas de producción del futuro. Finalmente, este enfoque teórico para ajustar la educación en ingeniería a la Industria 4.0, pretende ser un primer paso hacia una visión más tangible de la Industria 4.0.

## REFERENCIAS

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, Hummel, V., y Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1-6.
- Ahola, J. M., Koskinen, J., Seppälä, T., y Heikkilä, T. (2015). Development of impedance control for human/robot interactive handling of heavy parts and loads. ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (pp. V009T07A066-V009T07A066). *American Society of Mechanical Engineers*. doi: 10.1115/DETC2015-47045.
- Anjarichert, L. P., Gross, K., Schuster, K., y Jeschke, S. (2016). *Learning 4.0: Virtual Immersive Engineering Education*. En *Digital Universities*. Roma: Gangemi Editore.
- Baehr, I. A. (2004). La educación Técnico profesional y la empresa. *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 3(5), 13-28.
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., y Retat, S. (2017). Learning factory: The path to industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73-80. doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.022.
- Bajaj, R., y Sharma, V. (2018). Smart Education with artificial intelligence based determination of learning styles. *Procedia Computer Science*, 132, 834-842. doi: 10.1016/j.procs.2018.05.095.
- Berger, R. (2014). *Industry 4.0 – The new industrial revolution*. Munich. Alemania: Roland Berger.
- Bhedaogaonkar, R. C., Chavan, M. S., Kubade, P. R., y Patil, S. B. (2019). Course Level PBL: An Excellent Teaching Method for Increasing Skill Levels and Learning Motivation in First Year of Engineering Students. *Journal of Engineering Education Transformations*, 33(1), 101-106. doi: 10.16920/jeet/2019/v33i1/149023.
- Bremgartner, V., de Magalhães Netto, J. F., y de Menezes, C. S. (2015). Adaptation resources in virtual learning environments under constructivist approach: A systematic review. 2015 *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-8). El Paso, TX: IEEE. doi: 10.1109/FIE.2015.7344316.
- Buhler, D., Kuchlin, W., Grubler, G., y Nusser, G. (2000). The Virtual Automation Lab-Web based teaching of automation engineering concepts. *Proceedings Seventh IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS 2000)* (pp. 156-164). IEEE. doi: 10.1109/ECBS.2000.839873.
- Cabrera, F. C. (2016). Construcción curricular de aula en docencia universitaria una investigación en evaluación curricular. *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 2(4), 45-56.
- Carrasco, C., Meza, J., Loyer, S., Morales, J., y García, F. (2016). Las Tecnologías de Información como apoyo al proceso de enseñanza y aprendizaje. Una experiencia en pedagogía universitaria. *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 2(3), 135-147.
- Cleary, M., y Vickers, A. (2014). Management Skills in the future manufacturing sector. En *Precision Consultancy for the Department of Education and Early Childhood Development*, Melbourne, Australia.

- Coşkun, S., Kayıkçı, Y., y Gençay, E. (2019). Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. *Technologies*, 7(1), 10. doi: 10.3390/technologies7010010.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D., y Edstrom, K. (2007). Rethinking engineering education. *The CDIO Approach*, 302, 60-62.
- Dopico, M., Gomez, A., De la Fuente, D., García, N., Rosillo, R., y Puche, J. (2016). A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI) (p. 407-413). *The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp)*.
- Eder, A. (2015). Akzeptanz von Bildungstechnologien in der gewerblich-technischen Berufsbildung vor dem Hintergrund von Industrie 4.0. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 3(2), 19-44.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., y Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
- Faller, C., y Feldmüller, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *Procedia CIRP*, 32, 88-91.
- Feisel, L. D., y Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 121-130. doi: 10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x.
- Felder, R. M., y Brent, R. (2003). Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. *Journal of Engineering Education*, 92(1), 7-25. doi: 10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x.
- Felder, R. M., y Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7), 674-681.
- Fleming, N. D. (2001). *Teaching and learning styles: VARK strategies*. Hershey, PA: IGI global.
- Flórez, R. (1994). *Hacia una pedagogía del conocimiento*. Santa Fé, Bogotá: McGraw-Hill.
- Fonseca, C. G. (2018). Conceptualizaciones sobre las clases universitarias en una Facultad de Educación ¿La clase como estructura y dominio técnico? *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 17(33), 171-182. doi: 10.21703/rexe.20181733cgarrido2.
- Forcael, E., Garcés, G., Bastías, E., y Friz, M. (2019). Theory of teaching techniques used in civil engineering programs. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 145(2), 02518008-1—02518008-7. doi: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000401.
- Forcael, E., Garcés, G., Erazo, P. B., y Bastías, L. (2018). How do we teach?: a practical guide for engineering educators. *International Journal of Engineering Education*, 34(5), 1451-1466. Recuperado de <https://www.ijee.ie/contents/c340518.html>.
- Expert Group on Future Skills Needs (EGFSN) (2013). *Future Skills Requirements of the Manufacturing Sector to 2020*. Dublin, Ireland: EGFSN. Recuperado de <http://hdl.voced.edu.au/10707/263467>.
- Gao, R., Wang, L., Teti, R., Dornfeld, D., Kumara, S., Mori, M., y Helu, M. (2015). Cloud-enabled prognosis for manufacturing. *CIRP annals*, 64(2), 749-772. doi: 10.1016/j.cirp.2015.05.011.
- Garcés, G., y Forcael, E. (2020). Proposal for a relationship between educational paradigms and engineering teaching-learning techniques. *Revista Educación en Ingeniería*, 15(29), 104-113. Recuperado de <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1072/977>.

- Gehrke, L., Kühn, A. T., Rule, D., Moore, P., Bellmann, C., Siemes, S., y Standley, M. (2015). A discussion of qualifications and skills in the factory of the future: A German and American perspective. *VDI/ASME Industry*, 4, 1-28.
- Gordón, F. D. (2017). El currículo basado en competencias profesionales integradas en la universidad ecuatoriana. *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 16(31), 129-154.
- Götting, M., Gosewehr, F., Müller, M., Wermann, J., Zarte, M., Colombo, A. W., y Wings, E. (2017). Methodology and case study for investigating curricula of study programs in regard to teaching industry 4.0. *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 533-538). Emden, Alemania: IEEE. doi: 10.1109/INDIN.2017.8104828.
- Gulati, R., y Soni, T. (2015). Digitization: A strategic key to business. *Journal of Advances in Business Management*, 1(2), 60-67.
- Guo, Q. (2015). Learning in a Mixed Reality System in the Context of Industrie 4.0. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 3(2).
- Heywood, J. (2005). *Engineering education: Research and development in curriculum and instruction*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Jaeger, M., y Adair, D. (2018). Impact of PBL on engineering students' motivation in the GCC region: Case study. In *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (pp. 1-7). Dubai, United Arab Emirates: IEEE.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of Permanent Change* (pp. 23-45). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., y Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Deutschland, Alemania, Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft. Recuperado de <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42b-f28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>.
- Keys, B., y Wolfe, J. (1990). The role of management games and simulations in education and research. *Journal of Management*, 16(2), 307-336. doi: 10.1177/014920639001600205.
- Kirby, A. (1992). *Games for Trainers*. Aldershot, UK: Gower.
- Klumpp, M., Clausen, U., y Ten Hompel, M. (2013). Logistics research and the logistics world of 2050. En *Efficiency and Logistics*(pp. 1-6). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kolb, D. A. (1984). *Experience as the source of learning and development*. Upper Sadle River, USA: Prentice Hall.
- Konak, A., Clark, T. K., y Nasereddin, M. (2014). Using Kolb's Experiential Learning Cycle to improve student learning in virtual computer laboratories. *Computers & Education*, 72, 11-22. doi: 10.1016/j.compedu.2013.10.013.
- Lang, J. D., Cruse, S., McVey, F. D., y McMasters, J. (1999). Industry expectations of new engineers: A survey to assist curriculum designers. *Journal of Engineering Education*, 88(1), 43-51. doi: 10.1002/j.2168-9830.1999.tb00410.x.
- Lanza, G., Haefner, B., y Kraemer, A. (2015). Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching. *CIRP Annals*, 64(1), 399-402. doi: 10.1016/j.cirp.2015.04.123.
- Le, T. Q., y Do, T. T. A. (2019). Active teaching techniques for engineering students to ensure the learning outcomes of training programs by CDIO Approach. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(1), 266-273.

- Leonard, D.C. (2002). *Learning Theories, A to Z*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Litzinger, T., Lattuca, L. R., Hadgraft, R., y Newstetter, W. (2011). Engineering education and the development of expertise. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 123-150. doi: 10.1002/j.2168-9830.2011.tb00006.x.
- Long, L. N., Blanchette, S., Kelley, T. D., y Hohnka, M. (2019). The Crucial Need to Modernize Engineering Education. *IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-9). Big Sky, MT: IEEE. doi: 10.1109/AERO.2019.8741981.
- Lucena, J., y Schneider, J. (2008). Engineers, development, and engineering education: From national to sustainable community development. *European Journal of Engineering Education*, 33(3), 247-257. doi: 10.1080/03043790802088368.
- Luo, X., y Störmer, M. (2018). Chancen und Herausforderungen der Organisations-und Personalentwicklung im Zeitalter der Industrie 4.0—Bestandsaufnahme und Ausblick. In *Kommunikation und Technik* (pp. 191-209). Springer VS, Wiesbaden.
- Maguire, K. (2016). Lean and IT—Working Together? An Exploratory Study of the Potential Conflicts Between Lean Thinking and the Use of Information Technology in Organisations Today. En A. Chiarini, P. Found, N. Rich (eds.), *Understanding the Lean Enterprise*(pp. 31-60). Springer, Cham.
- Male, S. A., Bush, M. B., y Chapman, E. S. (2010). Perceptions of competency deficiencies in engineering graduates. *Australasian Journal of Engineering Education*, 16(1), 55-68. doi: 10.1080/22054952.2010.11464039.
- Marzano, R. J., Pickering, D., y Pollock, J. E. (2001). *Classroom instruction that works: Research-based strategies for increasing student achievement*. Alexandria, EE.UU: Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).
- Mayer, R. E., Heiser, J., y Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187.
- Molderez, I., y Fonseca, E. (2018). The efficacy of real-world experiences and service learning for fostering competences for sustainable development in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4397-4410. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.062.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13.
- Paravizo, E., Chaim, O. C., Braatz, D., Muschard, B., y Rozenfeld, H. (2018). Exploring gamification to support manufacturing education on industry 4.0 as an enabler for innovation and sustainability. *Procedia Manufacturing*, 21, 438-445.
- Peña, C. (2019). *Redes de Negocios*. Editorial Académica Española. Recuperado de <https://www.eae-publishing.com/catalog/details/store/ru/book/978-620-2-15255-6/redes-de-negocios?-search=redes%20de%20negocios>.
- Peña, C., Vidal, M., Garcés, G., y Silva S. (2020). Circular Business Model: The Case of the Tire Recycling Plant in the Bío-Bío Chilean Region. En V. Ratten, M. Ramirez-Pasillas, H. Lundberg (Eds.), *Managing Sustainable Innovation* (pp. 104-120). London, UK: Routledge. Recuperado de <https://www.routledge.com/Managing-Sustainable-Innovation/Ratten-Ramirez-Pasillas-Lundberg/p/book/9780367210311>.
- Phase, I. I. (2005). *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. Washington, USA: National Academies Press.



- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327. doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.002.
- Prince, M. J., y Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123-138. doi: 10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., y Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113-118.
- Rugarcia, A., Felder, R. M., Woods, D. R., y Stice, J. E. (2000). The future of engineering education I. A vision for a new century. *Chemical Engineering Education*, 34(1), 16-25.
- Sackey, S. M., y Bester, A. (2016). Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 101-114. doi: 10.7166/27-4-1579.
- Salah, B., Abidi, M. H., Mian, S. H., Krid, M., Alkhalefah, H., y Abdo, A. (2019). Virtual Reality-Based Engineering Education to Enhance Manufacturing Sustainability in Industry 4.0. *Sustainability*, 11(5), 1477. doi: 10.3390/su11051477.
- Schar, M. (2015). *Scenario Based Learning-Designing Education Lab*. Scenario Based Learning-Designing Education Lab.
- Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., y Schmitz, T. (2014). Global Footprint Design based on genetic algorithms—An “Industry 4.0” perspective. *CIRP Annals*, 63(1), 433-436.
- Sloat, K. C., Tharp, R. G., y Gallimore, R. (1977). The incremental effectiveness of classroom-based teacher-training techniques. *Behavior Therapy*, 8(5), 810-818. doi: 10.1016/S0005-7894(77)80152-4.
- Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., y Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0* (Vol. 150). En D. Spath (Ed.). Stuttgart, Alemania: Fraunhofer Verlag.
- Sun, Z., Xie, K., y Anderman, L. H. (2018). The role of self-regulated learning in students’ success in flipped undergraduate math courses. *The Internet and Higher Education*, 36, 41-53. doi: 10.1016/j.iheduc.2017.09.003.
- Turns, J., Atman, C. J., Adams, R. S., y Barker, T. (2005). Research on Engineering Student Knowing: Trends and Opportunities. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 27-40. doi: 10.1002/j.2168-9830.2005.tb00827.x.
- UNESCO (2010). *Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf>.
- Wanjogu, E. (2016). *Potential relevance of neuroscience to guide consumption of multimedia technologies towards enhancing learning* (Tesis Doctoral), University of Cape Town, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.
- Wee, D., Kelly, R., Cattel, J., y Breunig, M. (2015). Industry 4.0-how to navigate digitization of the manufacturing sector, McKinsey & Company, Nueva York, Estados Unidos, 58, 1-62. Recuperado de [http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck\\_industry\\_40\\_report.pdf](http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mck_industry_40_report.pdf).
- Zarte, M., y Pechmann, A. (2017). Concept for introducing the vision of industry 4.0 in a simulation game for non-IT students. *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 512-517). Emden, Alemania: IEEE. doi: 10.1109/INDIN.2017.8104825.