

**LINEAMIENTOS DESDE LA INDUSTRIA 4.0 A LA EDUCACIÓN 4.0: CASO
TECNOLOGÍA IoT****GUIDELINES FROM THE INDUSTRY 4.0 TO THE EDUCATION 4.0: CASE
TECHNOLOGY IoT****MSc. Nydia Susana Sandoval Carrero***, **MSc. Nancy María Acevedo Quintana***,
PhD. Luz Marina Santos Jaimes**** Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería de
Sistemas.

Campus Universitario Km1 Vía Bucaramanga, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144

E-mail: {nydiasandoval, nancya, lsantos}@unipamplona.edu.co.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8126-8557>Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8706-1433>Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4499-795X>

Resumen: Las tecnologías de Industria 4.0 en el ambiente universitario abre nuevas posibilidades para aplicaciones y servicios, conduciendo a innovaciones científicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje que faciliten la llegada de la Educación 4.0. En este artículo, se estructura una ruta en la dirección de la educación superior consolidar esfuerzos en la formación de ingenieros idóneos para afrontar los retos de la Industria 4.0 consistiendo de: nuevos cursos en los programas de ingeniería, cualificaciones y habilidades entre las que se destacan las competencias blandas, y fábricas de aprendizaje como enlace entre la Academia a proyectos reales de la industria. Adicional, se aborda Internet de las Cosas como una de las tecnologías claves para el alcance de la Educación 4.0, en la que su aplicación lleva al mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, y al monitoreo de salud, y emociones de los estudiantes.

Palabras clave: Currículo, educación 4.0, industria 4.0, ingeniería, IoT.

Abstract: The Industry 4.0 technologies in the university environment open up new possibilities for applications and services, leading to scientific innovations in the teaching-learning process that facilitate the arrival of Education 4.0. In this article, a route is structured in the direction of higher education to consolidate efforts in the training of suitable engineers to face the challenges of Industry 4.0, consisting of: new courses in engineering programs, qualifications and skills among which stand out soft skills, and learning factories as a link between the Academy to real projects in the industry. Additionally, the Internet of Things is addressed as one of the key technologies for the scope of Education 4.0, in which its application leads to the improvement of teaching-learning process, and to the monitoring of health and emotions of the students.

Keywords: Curriculum, education 4.0, industry 4.0, engineering, IoT

1. INTRODUCCIÓN

Para desarrollar la Educación 4.0 (E4.0) es importante contar con proyectos de innovación que permeen la transición hacia las nuevas tecnologías. No obstante, en Colombia, la innovación presenta desafíos; en 2019, nuestro país ocupó el puesto 67 a escala global, y el 6 entre las 19 economías en América Latina, según el Índice Mundial de Innovación, elaborado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y la Universidad de Cornell (GII, 2019).

Las Universidades requieren preparar los currículos, estudiantes y docentes para atender los desafíos de la Industria 4.0 (I4.0); además de mejorar su enfoque y métodos de educación. La Academia debe sopesar sus capacidades poniendo esfuerzo para equipar las nuevas generaciones de profesionales con los últimos conocimientos y habilidades para enfrentar la cuarta revolución industrial. Las últimas tecnologías, como el análisis de Big Data, la Inteligencia Artificial, la Realidad Aumentada, Internet de las cosas (IoT), la computación en la nube y otros avances deben abordarse (Rozo-García, 2020), y además que los estudiantes aprendan a aplicarlos en los problemas reales de la industria. La I4.0 lleva a la adquisición de nuevas habilidades, cambio de currículos, nuevos conceptos de entrenamiento y aprendizaje, y la flexibilidad en la educación. En (Catal & Tekinerdogan, 2019), direccionan en cómo preparar y educar nuevas generaciones para ayudar a la sociedad, ciencia, y humanidad adaptarse a las nuevas tecnologías disruptivas, y cómo cambiar el currículo para reflejar estas innovaciones tecnológicas (Moner, A. F. M., & García, A. P. 2018).

El presente artículo pretende ser una reflexión y a la vez una ruta en la dirección de la educación superior consolidar esfuerzos para formar profesionales de ingeniería idóneos para afrontar los retos de la I4.0. Primero se da un abordaje teórico de E4.0 e IoT, posteriormente se presenta una verificación de las cualificaciones requeridas por los ingenieros en la I4.0, se explora en la incorporación de nuevos cursos en los currículos de ingeniería, la aplicación de fábricas de enseñanza, y por último se muestran los efectos y aplicaciones de IoT en la E4.0.

1.1 Educación 4.0

Según los autores en (Iglesia Villasol, 2019), el modelo de E4.0, se caracteriza porque: 1) pone el foco del interés en la cooperación y en la interacción, entendidos como pilares de los

procesos de enseñanza-aprendizaje, entre profesor y alumno o entre los propios alumnos, 2) incorpora el aprendizaje activo, vinculado al análisis de la toma de decisiones y el pensamiento estratégico por parte de estudiantes, 3) explora elementos de juego y creación de entornos de aprendizaje reales, con contenidos y usos transversales, 4) se apoya en el uso de las herramientas de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), tanto para el acceso, la organización, creación, la difusión de contenidos como para la intercomunicación multidireccional y multisoporte, 5) aborda el aprendizaje de competencias, generando conocimiento válido y aplicable a la resolución de problemas reales, y 6) redefine la evaluación sobre la adquisición de un conocimiento integrado, al igual que por el desarrollo de competencias, en un continuo proceso de revisión y retroalimentación para una mejora sostenible en el aprendizaje. En (Harkins et al., 2008) realiza un comparativo sobre la Educación 1.0 a la E4.0 de varios factores que intervienen en el proceso enseñanza-aprendizaje, donde prima la innovación en todos los aspectos para la E4.0.

La tendencia de la educación en la I4.0 apunta hacia la universidad innovadora basada en la investigación. La universidad innovadora es la que hace de la investigación su principal eje de desarrollo. La investigación se lleva en un doble plano: 1) la investigación para la innovación científica- tecnológica, y 2) la investigación para la innovación académica. Por un lado, se aportan nuevos conocimientos; y por el otro, se redefine el sistema de enseñanza-aprendizaje. Las universidades mejor clasificadas son el resultado de un modelo de universidad caracterizado por un dinamismo de retroalimentación ente estas dos vertientes (Liu et al., 2015).

(Ciolacu et al., 2017) Considera la E4.0 en siete facetas: 1) material preparado para diferentes tipos de aprendizaje (libro y video interactivo), 2) elementos lúdicos y de realidad virtual para ayudar en la motivación (gamificación) de los estudiantes, 3) los estudiantes practican conectividad móvil, con acceso a módulos de aprendizaje en cada locación construcción de comunidades de práctica, 4) los módulos del curso se auto adaptan a los conocimientos previos y el comportamiento de aprendizaje (adaptabilidad), 5) métodos analíticos de aprendizaje encuentran estudiantes con problemas y adicionan programas de soporte, 6) tele tutores inteligentes en la forma de chatbots intervienen con asesoramiento y apoyo, y 7) evaluaciones electrónicas: los profesores son

relevados de sus trabajos de corrección a través de pruebas evaluadas automáticamente.

1.2 Internet de las cosas (IoT)

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), la definición de IoT es: “una infraestructura global para la sociedad de la información, activa servicios avanzados mediante la interconexión de las cosas (físicas y virtuales) basado en tecnologías de la información y las comunicaciones interoperables existentes y en evolución” (Chen et al., 2014).

Revisiones sistemáticas sobre conceptos IoT y potenciales investigaciones en el tema han sido realizadas en diversos trabajos. En (Lee & Lee, 2015), presenta cinco tecnologías que son esenciales en el desarrollo de productos y servicios IoT: Identificación por radiofrecuencia (RFID), redes de sensores inalámbricos (WSN), middleware, computación en la nube, y software de aplicación IoT. También discute tres categorías IoT para aplicaciones empresariales usadas para mejorar el valor del cliente: 1) monitoreo y control, 2) big data y análisis de negocios, y 3) compartir información y colaboración. El objetivo del trabajo en (Madakam et al., 2015) es proveer una visión general de IoT, arquitecturas, tecnologías, y sus usos en la vida diaria. En (Lu et al., 2018) fue realizada una revisión de la literatura de negocios relevante desde dos perspectivas: la del usuario y el de la organización. El trabajo en (Botta et al., 2016) presenta una revisión de literatura sobre la integración de la nube e IoT, en específico sobre los desafíos de investigación y futuras direcciones del nuevo campo que denominan CloudIoT.

El autor en (Gerber, 2017a), revisa los diferentes tipos de hardware comúnmente adoptados para IoT, incluyendo Arduino, Raspberry Pi, y dispositivos embebidos. El artículo describe bloques de construcción de alto nivel y características claves de hardware, incluyendo una visión general de características de seguridad y capacidades firmware, en el contexto de IoT. El trabajo responde acerca de cuándo, dónde y por qué un desarrollador podría escoger un tipo de hardware sobre otro para un proyecto IoT y da ejemplos en un amplio rango de industrias. IBM ofrece una guía para conectividad en IoT, explora una amplia variedad de tecnologías y estándares para redes IoT y expone razones de porque seleccionar entre un protocolo de red u otro

(Gerber, 2017b). En (Gerber, 2018), explora las capacidades claves de plataformas IoT de propósito general y extremo a extremo.

La alta conectividad de objetos inteligentes y sus vulnerabilidades llevan a nuevos retos de seguridad, las cuales son abordados en trabajos como en (Botta et al., 2016) y (Gélvez-Rodríguez & Santos-Jaimes, 2020). En la medida que gran cantidad de dispositivos recopilan información sobre actividades, costumbres y preferencias de las personas que puede colocar en riesgo la privacidad, (Lee & Lee, 2015) aporta una posible solución para garantizar la seguridad y privacidad de los datos personales en IoT, mediante técnicas que resultan de la colaboración entre las áreas empresarial, legislativa y tecnológica para dar confianza a los actores involucrados. Nuevos riesgos que trae la convergencia entre TICs y tecnología operacional, especialmente vía IoT son expuestos en (Heritage, 2019).

2. LINEAMENTOS DESDE LA INDUSTRIA 4.0 AL MODELO DE EDUCACIÓN 4.0

De la revisión de trabajos lleva a estructurar esta sección que presenta una ruta en la dirección de la educación superior consolidar esfuerzos para la E4.0 en la formación ingenieros idóneos para afrontar los retos de la I4.0, (Fig. 1).

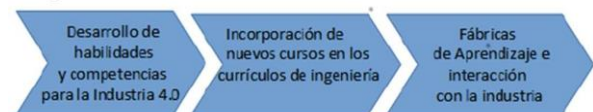


Fig 1: Ruta hacia la formación de ingenieros para la I4.0. Fuente: propia

2.1 Cualificaciones y competencias requeridas por los ingenieros en la I4.0

El mundo cada vez más cambiante, abierto y dependiente de las nuevas tecnologías, que explora a aprender haciendo, y en el que prima la interdisciplinariedad, tanto en el aprendizaje como en el entorno laboral, por lo que la cooperación entre disciplinas aporta mayores dosis de creatividad para abordar la resolución de los problemas cada vez más complejos, que tiene planteada la sociedad y sus instituciones.

La I4.0 no sólo ha cambiado la estructura del trabajo, también factores significantes que afectan la competitividad de las instituciones involucradas (Iglesia Villasol, 2019). Mercados competitivos

han forzado a las organizaciones a mejorar el desarrollo de productos y proceso de toma de decisiones, como también analizar e implementar nuevas filosofías tales como Ingeniería Concurrente, Diseño Colaborativo, Desarrollo de Producto Integrado y Control de Calidad Total (Harkins & others, 2008). Todas estas actividades de ingeniería relacionadas tienen un objetivo común de reducir el diseño del producto, tiempo y costos, e incrementar la calidad al contar con gente colaborando en forma más efectiva. Tradicionalmente la educación en ingeniería direcciona el aprendizaje de aplicaciones asistidas por computador y manejo del ciclo de vida del producto por separado. Se requiere una visión integrada de estas herramientas y su aprendizaje.

La inexistencia de una perspectiva integrada en el plan de estudios de ingeniería pasa por alto la necesidad de enseñar habilidades valiosas en las áreas de: gestión de proyectos y grupos de trabajo en equipos distribuidos multifuncionales, identificación y resolución de problemas de diseño y fabricación, colaboración eficiente y gestión del flujo de trabajo (Chen et al., 2014). En (Benešová & Tupa, 2017), se relaciona cualificaciones y habilidades necesarias para perfiles de trabajo en tecnologías de información para la I4.0 como: especialista, informático, programador PLC, programador para robot, ingeniero de software, analista de datos y ciberseguridad.

En el campo de las habilidades duras, por ejemplo, en un ingeniero mecánico estas son representadas por alto conocimiento numérico y matemático, solución de problemas, habilidades de diseño y creatividad, habilidades experimentales y de investigación, programación de computadores, y conocimiento de herramientas de software específico (Mesquita et al., 2017). Sin embargo, un ingeniero mecánico debería tener otras habilidades duras, incluyendo un fuerte entendimiento de estándares en la industria, y computación, debido a que dedica bastante tiempo diseñando, simulando y probando productos y/o procesos. Por contraste, habilidades blandas son menos tangibles, pero no menos importantes, estas son representadas por fuerte pensamiento analítico, habilidades de comunicación, habilidades de liderazgo y trabajo en equipo. Las habilidades básicas de alfabetización digital son necesarias, incluyen el uso de aplicaciones para comunicarse y realizar búsquedas básicas en Internet. Además de las anteriores, se requieren habilidades digitales necesarias en el lugar de trabajo y generalmente vinculado al uso de software específicos.

La necesidad de que la educación superior se oriente más hacia la práctica profesional, fomente el pensamiento crítico y la creatividad en los estudiantes y desarrolle un aprendizaje más profundo, exige un cambio de los métodos de aprendizaje tradicionales. El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en la educación en ingeniería se considera un modelo de enseñanza alternativo para mejorar el desempeño de los estudiantes, así como lograr las competencias técnicas deseadas que les permitan vincular la teoría aprendida con la práctica (A. C. Alves et al., 2016). Sin embargo, además de las competencias técnicas adquiridas a través del ABP, también se mejoran en alto grado varias competencias laterales como el trabajo en equipo y la comunicación, la gestión del tiempo y otras habilidades para la resolución de problemas. Es ideal atender una combinación de diferentes estilos de aprendizaje, específicamente los siguientes: aprendices sensoriales e intuitivos, aprendices visuales, aprendices inductivos, aprendices activos y reflexivos, aprendices globales (Louw & Deacon, 2020).

En la literatura, el término competencia ha ganado importancia en los campos de educación y entrenamiento, en las cuales el enfoque ha cambiado de cualificaciones certificadas a competencias adquiridas. El trabajo (Abele et al., 2017) categorizó las competencias en los siguientes grupos: 1) competencias personales, que describen lo reflexivo y acciones autoorganizadas de una persona. Un ejemplo es la capacidad para evaluar las propias habilidades, 2) competencias profesional-metódicas, la cual una persona necesita para resolver problemas objetivos. El conocimiento, las habilidades y los métodos son parte de estos, 3) competencias socio-comunicativas, contribuyen a las acciones comunicativas junto con las interacciones con otras personas, 4) competencias orientadas a la actividad y la implementación. Incluyen la voluntad de dirigir acciones propias para implementar planes en realidad.

Los autores en (Bauer et al., 2015) definen los siguientes aspectos importantes a considerar: 1) cualificaciones para ambientes de manufactura inteligente, el uso de sistemas ciberfísicos con objetos conectados inteligentemente en la fábrica permitirán un trabajo flexible en el futuro, el cual consistirá de tareas distribuidas en múltiples dimensiones de tiempo, espacio, y contenido. Innovaciones tecnológicas removerán la dependencia de lugares de trabajo fijos y

planificaciones de trabajo, así cambia la naturaleza de trabajo en la manufactura y en ocupaciones intensivas de conocimiento, 2) nuevos principios de trabajo y liderazgo, se requerirá empleados y equipos en sistemas de producción ciberfísicos, líderes en la toma de decisiones dentro del proceso de producción en línea con los principios de I4.0 y organizar la división del trabajo, así que mejores decisiones puedan ser tomadas, lo hace eliminando la necesidad de una larga coordinación de procesos y canales complejos de toma de decisiones. Los empleados tienen la oportunidad de regular su propio trabajo, pero también requerirá más de ellos en términos de sus propias cualificaciones, particularmente en el campo de los medios y habilidades sociales, y 3) diseño de trabajo resistente a la demografía, el cambio demográfico y una nueva autoconciencia entre los empleados están cambiando el equilibrio de poder en el entorno de negocios. Es normal trabajar con equipos que se mezclan según la edad, género y actitudes. Esto podría desencadenar importantes mejoras en la creatividad y productividad, pero también plantea un mayor riesgo de conflictos. El diseño de las interacciones, la orquestación de diversidad, se convertirá en una de las habilidades del liderazgo exitoso.

2.2 Nuevos cursos en los currículos de Ingeniería hacia la I4.0

Una tarea importante en la preparación para la I4.0 es la adaptación de la educación superior a los requerimientos de su visión, en particular la educación en ingeniería. Los autores en (Ellahi et al., 2019) realizan una investigación cualitativa con un acercamiento deductivo enfocado hacia rediseñar los planes de estudio y prácticas de enseñanza en línea con las prácticas de I4.0. Según la investigación, fueron propuestos unos temas para incluir en los planes de estudio, los cuales permitirán a las Universidades mejorar sus currículos en línea con las competencias tecnológicas requeridas por la llegada de la era de la I4.0. La matriz de currículo propuesta es básicamente un marco la cual puede ser aplicado como una ruta para que las Universidades incorporen y adapten la I4.0 en sus currículos con los siguientes cursos: Big Data, IoT, computación en la nube, inteligencia artificial y realidad aumentada.

En (Promyoo et al., 2019), desarrollaron un currículo de manufactura digital que está basado en el proceso de digitalización de ingeniería de sistemas a través de la integración del modelado y

simulación continuo con la gestión del ciclo de vida del producto, que se nombra modelo basado en desarrollo de productos impulsado por el sistema (SDPD). El centro de este currículo es un cambio de enfoque de la teoría a la implementación y práctica, mediante una síntesis aplicada de fundamentos de ingeniería de sistemas, que es conducida por un conjunto de herramientas de desarrollo de software integradas abarcando el ciclo de vida completo de un producto. Los productos de hoy son el resultado de subsistemas que interactúan y necesitan ser integrados, típicos ejemplos son los teléfonos inteligentes y vehículos autónomos. El incremento de complejidad de los productos modernos ha sido influenciado por el incremento del número de disciplinas involucradas en la fabricación de un producto, por lo que se presenta colaboración entre diferentes disciplinas y dominios.

En (Cocskun et al., 2019) introducen una ruta consistiendo de tres pilares describiendo las mejoras a ser conducidos en las áreas de desarrollo de currículos, concepto de laboratorio, y actividades del club de estudiantes. El primer pilar es la implementación del concepto I4.0 en el currículo, el cual revela sinergia entre diferentes áreas de experiencia y ayuda en la aplicación y mejora del concepto 4.0 en numerosas áreas. El segundo pilar consiste de un laboratorio (Lego-Lab), donde los estudiantes trabajan sobre diseños industriales usando Lego Mindstorms y entienden la aplicación del concepto de I4.0 simulando líneas de producción reales. Se incluye, la teoría de aprendizaje experimental diseñada en cuatro fases: 1) experiencia concreta, 2) observación reflectiva, 3) conceptualización abstracta, y 4) experimentación activa. El último pilar es el establecimiento de un club de estudiantes, donde trabajan sobre diferentes aspectos de Industria 4.0 en la cual se organizan eventos para introducir y diseminar la visión de la I4.0.

A diferencia del trabajo anterior, en (Catal & Tekinerdogan, 2019) adicionan un parque de colaboración ya que su enfoque es hacia ciencias de la vida como el Agro. Provee un marco general para soportar educación en el contexto de I4.0 basado en cuatro pilares: 1) nuevos cursos para el currículum, 2) parque de colaboración, 3) reuniones de la junta asesora, y 4) proyectos prácticos. Se mencionan las tecnologías: IoT, analítica de big data, computación edge y fog, impresión 3-D para manufactura aditiva, ciencia de los datos, aprendizaje profundo, realidad aumentada, robótica colaborativa, máquinas de

aprendizaje, manufactura inteligente, IoT seguro, computación en la nube, sistemas ciberfísicos, y gemelo digital. En (Rozo-García, 2020) realizan una revisión de tecnologías presentes en la I4.0 donde se menciona también la tecnología blockchain. Varias de estas tecnologías pueden ser diseñadas en un mismo curso, también es posible que más de un curso sea diseñado para cubrir totalmente una tecnología particular. Así, no hay una regla que dicte un mapeo de uno a uno entre tecnología y curso, o entre uno a muchos.

El documento en (Lensing & Friedhoff, 2018) presenta un plan de estudios adaptativo para un laboratorio (abierto) que cubre temas en contexto con la I4.0 e IoT. Aquí, el enfoque es fomentar la creatividad entre los estudiantes, niños de secundaria y socios interesados de la industria. Por lo tanto, el objetivo principal era diseñar un currículo adaptable a múltiples grupos objetivo con una familiaridad muy variada con respecto a los temas de IoT. Entonces, la extensión del curso o la longitud y, especialmente, el nivel de complejidad, en relación con los ejemplos seleccionados se ajustan al grupo objetivo. En (Lensing & Friedhoff, 2018) presenta las competencias requeridas para una exitosa integración de las áreas producción limpia e I4.0, para lo que estructuran y presentan el currículo denominado "Loan 4.0".

2.3 Escenarios de enseñanza-aprendizaje hacia la I4.0

La fábrica de enseñanza se propone como un mecanismo de entrega de conocimiento que introduce un cambio de paradigma en la educación manufacturera. El trabajo (Motyl et al., 2017) se enfoca sobre ingenieros de sistemas, ubicados en el taller y mejorando continuamente el sistema de manufactura con los trabajadores en las compañías japonesas. Los ingenieros conducen la operación de los sistemas de manufactura, resuelven problemas, ejecutan Kaizen (modificación de sistemas de manufactura para perseguir la producción ajustada en función de sus propias iniciativas). El trabajo indica que se debería no solo enseñar ciencia y tecnología de manufactura, sino también IoT, sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial, y pensamiento sistémico el cual lleva a la idea de la tripleta innovación, competitividad y transformación digital. En fin, el programa tiene como objetivo capacitar a los ingenieros de sistemas de manufactura para operar, ejecutar el diagnóstico y la recuperación de fallas, ejecutar Kaizen, y diseñar sistemas de fabricación,

mediante el ejercicio de la tripleta digital de las fábricas de aprendizaje.

Los requisitos sobre la educación de los ingenieros cambian con la creciente demanda de la industria para impulsar la transformación de la cuarta revolución industrial. Por lo tanto, el Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania (BMBF) lanzó una serie de proyectos de investigación relacionados con la educación, de los cuales el proyecto cooperativo ELLI (Excelente enseñanza y aprendizaje en ciencias de la ingeniería) es uno de los más extensos. El Proyecto de la Universidad RWTH Aachen, la Universidad Ruhr-Universität Bochum y la Universidad TU Dortmund, conceptualiza e implementa una celda de prueba de caracterización de material teleoperatorio, junto con un laboratorio remoto (Fig. 2). Para hacer un mayor uso de los laboratorios remotos, se creó un curso masivo abierto en línea que incorpora laboratorios remotos como parte de los métodos didácticos aplicados. Para superar los límites del control remoto, se desarrollaron representaciones virtuales de estos laboratorios y un laboratorio general de experimentación operado remotamente (Grodzki et al., 2018). Están diseñados para diferentes dispositivos que permiten a los estudiantes explorar y experimentar visualmente procesos complejos.

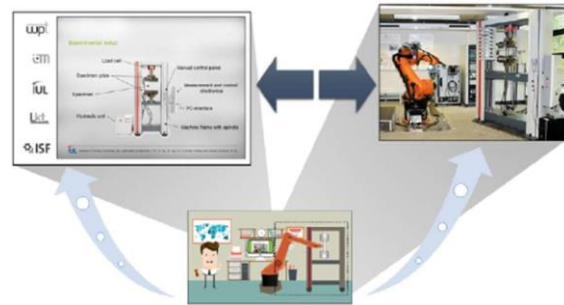


Fig. 2. Concepto del laboratorio remoto. Fuente: tomada de (Grodzki et al., 2018)

Se pueden identificar diversos desafíos, en relación con la brecha y la escasez de habilidades y competencias en materia de trabajo, en diferentes sectores industriales. La evolución tecnológica acelerada crea un entorno dinámico con respecto a las habilidades y competencias futuras requeridas. Se deben emplear nuevos mecanismos de entrega de conocimiento, utilizando las TIC modernas. Se presenta una serie de aplicaciones piloto de fábrica de aprendizaje, en cooperación con la industria que demuestran su potencial (Mavrikios et al., 2018). Se sugiere un concepto de red de fábrica de enseñanza como un paradigma superior basado en

la red para la educación manufacturera, que une las demandas y ofertas de capacitación, dentro de una red de actores industriales y académicos (Fig. 3).

La fabricación, a través del concepto I4.0, se está moviendo a la siguiente fase de digitalización. La I4.0, respaldada por tecnologías innovadoras como IoT, tecnología de nube, realidad aumentada y realidad virtual, también jugará un papel importante en la educación de fabricación, apoyando la capacitación avanzada de la fuerza laboral cualificada. La E4.0 y los ecosistemas en red desarrollarán habilidades y competencias para la nueva era de la fabricación. El trabajo (Mourtzis et al., 2018) presenta cómo la adopción de sistemas ciberfísicos y tecnologías de la I4.0, bajo el paradigma de la fábrica de enseñanza, da forma a la educación en fabricación, abordando la creciente necesidad de empleados altamente cualificados. Se presenta un soporte con tecnología I4.0, considerando la construcción de un automóvil controlado por radio. En este trabajo, se evidencia el desarrollo de diseño asistido por computador (CAD), realidad virtual entre otras tecnologías para el desarrollo de un automóvil desde su diseño hasta su implementación. En cada etapa de desarrollo se lleva información a una plataforma que permite el análisis del aprendizaje del estudiante basados en la estimación de tiempo de la prueba, cumplimiento de los requerimientos del diseño entre otros.



Fig. 3. Red de fábrica de enseñanza. Fuente: adaptada de (Mavrikios et al., 2018).

Se presenta el modelo de aprendizaje experimental para adquirir habilidades en la interoperabilidad de los sistemas CAD, utilizando el modelo de educación basado en redes sociales y la plataforma de Fábrica de Aprendizaje (C. Alves & Putnik,

2019). El aprendizaje experimental se aplicó en las unidades curriculares de planificación de procesos y fabricación asistida por computadora dentro del curso de Maestría integrada en ingeniería industrial y gestión. El modelo de aprendizaje experimental desarrollado e implementado demostró que proporciona la capacidad de enseñar nuevas características y experiencia del entorno de la I4.0, manteniendo los planes de estudio.

El objetivo común de los conceptos de fábrica de aprendizaje es proveer una producción industrial relevante y/o ambiente operacional para propósitos de enseñanza-aprendizaje. El trabajo (Lanz et al., 2019) introduce el concepto de aprendizaje en robótica, configuraciones de hardware y software usados, módulos de educación, y las formas de colaboración entre la industria y la academia. Para facilitar el proceso de aprendizaje, se estableció el laboratorio RoboLAB junto con módulos de educación academia-industria para educación formal y no formal.

En (Elbestawi et al., 2018) provee una completa orientación de una fábrica de aprendizaje que incluye moderno diseño y simulación, prototipos, proceso de manufactura, incluyendo impresión 3D, y ensamble automatizado, y sistemas de pruebas que incorpora tecnologías de estrategias de implementación de la I4.0 tales como sistemas ciberfísicos, IoT, e IoT industrial.

El paradigma de fábrica de enseñanza constituye el enlace perdido que ayuda a unir el vacío entre la academia y la industria. En (Mourtzis et al., 2019) presenta un diseño y evaluación de un sistema de manufactura real, usando simulación de eventos discretos y basada sobre datos reales obtenidos en una industria de cobre, las cuales son presentados en el contexto de fábrica de enseñanza. El sistema de producción es modelado bajo la guía de los ingenieros expertos de la industria y datos de producción real son utilizados en el modelo creado. Un canal de comunicación remota soportado por infraestructura de TI fue establecido para facilitar el intercambio de datos y conocimiento. La identificación del impacto de los parámetros reales sobre la respuesta del sistema es cumplida hacia la selección de las configuraciones apropiadas para mejorar la producción.

En (Cantabella et al., 2019) se creó un curso de medición e instrumentación multidisciplinario, para estudiantes de Ingeniería afrontar los retos de I4.0. El curso está basado sobre una “empresa pequeña

de aprendizaje” integrada con un laboratorio académico, con metodologías de aprendizaje activos, en particular cooperativo basado en proyectos y escenarios. La actividad de educación está basada sobre el modelo: 1) “fábricas de aprendizaje” enfocado sobre innovación de procesos, 2) empresas pequeñas de I4.0, explotando IoT y tecnologías de fabricación aditivas.

El trabajo (Karre et al., 2017) presenta el estado de LeanLab, una fábrica de aprendizaje para mejorar la educación académica, capacitaciones de empresas e investigación práctica en los campos de la ingeniería industrial y la logística. El objetivo es permitir aprendizaje orientado a la práctica en un ambiente cercano a la realidad industrial para facilitar la transferencia de conocimiento efectivo.

Las fábricas de aprendizaje son plataformas adecuadas para aplicar, probar y difundir tecnologías y, por lo tanto, debería garantizar un desarrollo y una transferencia de tecnología mejor y más específicos. Además, se requiere diseñar capacitaciones a trabajadores para prepararlos al entorno de la I4.0 y puedan hacer frente a la creciente complejidad en entornos industriales. El artículo (Leal et al., 2020) contribuye a la práctica y la literatura al presentar un ejemplo de pasos para la implementación de una fábrica de aprendizaje para la I4.0 en un entorno con recursos restringidos. Esta experiencia se puede adaptar a otras situaciones, particularmente en países en desarrollo como Colombia.

3. EFECTOS, APLICACIONES Y RETOS DE IOT SOBRE LA EDUCACIÓN 4.0

Como caso de estudio de las tecnologías de I4.0, esta sección muestra el uso de IoT en la educación superior. En (Bagheri & Movahed, 2016) categorizaron la aplicación de IoT en la educación en cuatro grupos: 1) gestión de la energía del campus y monitoreo de ecosistemas en tiempo real, 2) monitoreo de cuidado de salud de los estudiantes, 3) campus seguro y control de acceso a las aulas, y 4) mejoramiento de la enseñanza y

aprendizaje. De igual modo, el trabajo analizó como IoT ha cambiado el modelo de negocios de educación y adicionó nuevas proposiciones de valor en tales organizaciones basado sobre el modelo de negocios Canvas. Entre los beneficios aportados están reducir costos, aprendizaje personalizado, ahorro de tiempo, campus más seguro, más confort y colaboración. A continuación, los trabajos se centran en aspectos claves para la E4.0 referentes a aportes en el mejoramiento de proceso enseñanza y aprendizaje, y en sistemas de monitoreo de las emociones y salud de los estudiantes.

3.1 Mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje

La introducción del IoT en la educación, permite que objetos físicos, sensores y controladores se comuniquen entre sí a través de Internet. Diferentes parámetros del ambiente educacional pueden ser medidos y analizados para proveer información útil embebiendo sensores en objetos e integrando computación en la nube, realidad aumentada, tecnologías wereables (vestibles) y big data.

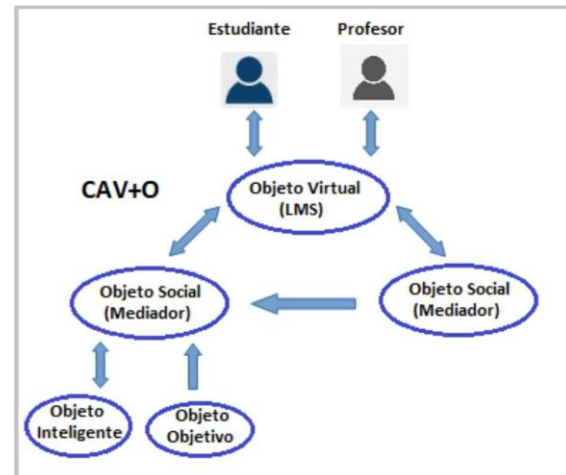
El trabajo (Bagheri & Movahed, 2016) propone un modelo para integrar objetos que están disponibles en el ambiente educacional con Comunidades Académicas Virtuales (CAV). También fue propuesta una arquitectura adaptada para algunos dominios de aplicación IoT, con el uso del paradigma de arquitecturas en capas y estilo de arquitecturas tales como REST para implementar este nuevo modelo de integración. Fueron ejecutados pruebas al modelo mediante la implementación de un caso de estudio, y los resultados mostraron que usar IoT provee un ambiente de aprendizaje más atractivo para los estudiantes y también proporciona más datos acerca del proceso de aprendizaje que ayuda a los profesores a mejorar su conocimiento acerca del proceso y dificultades de aprendizaje de los estudiantes. La integración de objetos inteligentes permite la obtención de más datos acerca de las actividades en laboratorios y nuevas formas de interacción entre los actores en las CAV y objetos (Fig. 4).

Fig. 4. Integración de objetos con Comunidades Virtuales de Aprendizaje. Fuente: adaptada de (Bagheri & Movahed, 2016)

El trabajo en (Abbasy & Quesada, 2017) se enfoca sobre una investigación asociada con el impacto predecible de IoT en la educación superior. Se realizó un estudio estadístico que dejó ver la influencia de IoT en el ecosistema de educación en términos de factores de manejo del aprendizaje. Se analizaron factores como: compromiso en el proceso de enseñanza-aprendizaje, creatividad, e-learning, auto aprendizaje, oportunidad de investigación, colaboración e hiper-conectividad. Los resultados del cuestionario revelaron que la mayoría de los profesores creen que IoT está comprendido por un gran número de objetos hiper-conectados interactuando entre ellos mismos. Los resultados mostraron que un alto porcentaje de instructores acuerdan con la idea que aplicar IoT en la educación superior tiene una influencia significativa sobre el aspecto cognitivo general de aprendizaje tal como la eficiencia y colaboración. La implementación de IoT en la educación superior puede incrementar las oportunidades de investigación tanto para los profesores como para los estudiantes.

Soluciones IoT permiten a las instituciones de educación recolectar fácilmente una amplia cantidad de datos provenientes de sensores y dispositivos vestibles, y ejecutar acciones significativas basadas sobre esos datos. Tales sistemas permiten a los estudiantes explorar un ambiente por usar sensores embebidos, códigos QR (Quick Response) y otras tecnologías. Ellos pueden acceder materiales de aprendizaje y otra información desde cualquier lugar en cualquier tiempo. Los docentes también pueden usar dispositivos vestibles y teléfonos inteligentes en las aulas para mejorar la enseñanza y aprendizaje. En (Abbasy & Quesada, 2017) realizaron una investigación metodológica basada en un estudio de caso y un modelo experimental y explicativo. El trabajo demostró mejor desempeño en el estudio del procesamiento digital de señales de un grupo de estudiantes del sexto semestre de la Carrera de Ingeniería en Teleinformática de la Universidad de Guayaquil que emplearon herramientas basadas en IoT y de computación en la nube.

Un aula inteligente puede ser definida como un ambiente inteligente equipado con diferentes módulos de hardware y software. Video proyectores, cámaras, sensores, algoritmos de reconocimiento facial son ejemplos de módulos



que monitorean diferentes parámetros del ambiente físico (Alvear Puertas, 2017), o atributos de los estudiantes tales como concentración, desempeños y logros (Cueva et al., 2017). En entornos inteligentes de aprendizaje la interfaz del usuario se puede adaptar a las necesidades y preferencias personales. Los estudiantes pueden interactuar con el sistema de aprendizaje mediante objetos cotidianos, lo que constituye un reto de investigación adaptar la interfaz del usuario para satisfacer las necesidades educativas en un entorno de aprendizaje inteligente (Zapata-Ros, 2018). En (Scholz et al., 2020) muestra la implementación de tecnologías IoT en la Universidad como parte del campus inteligente que ayuda a los docentes, estudiantes y administración a automatizar el proceso de la educación. El trabajo implementa y evalúa un modelo de aula invertida como parte del proceso educativo IoT y compara los resultados con un aula tradicional.

3.2 Sistemas de monitoreo de salud y emociones de los estudiantes

El sistema de monitoreo facial para determinar la desconcentración en estudiantes universitarios es un sistema cuyo objetivo es brindar estimadores de desconcentración. El sistema se desarrolló empleando herramientas de visión artificial mediante el uso de librerías de OpenCv y scripts de Python. El hardware utilizado fue una placa Raspberry Pi 2 Modelo B y el módulo Pi Camera para la detección del rostro. Durante el levantamiento de información de la situación actual se determinó que la principal causa de desconcentración de los estudiantes se debe a la fatiga y a la falta de horas de descanso. Se tomaron en cuenta las variables de número de pestañeos y número de bostezos como factores fisiológicos que

determinan si una persona está cansada o no. Los datos obtenidos fueron subidos en tiempo real a una plataforma en Internet donde los docentes pueden visualizar los estimadores de desconcentración en sus periodos académicos (Alvear Puertas, 2017).

El estudio (Tonguç & Ozkara, 2020) examina los cambios en las emociones de 67 estudiantes durante las lecturas de Tecnologías de Información Básica quienes estudian en tres diferentes departamentos en una universidad en la región mediterránea. Fueron analizadas las expresiones faciales de los estudiantes en términos de los sentimientos de disgusto, tristeza, felicidad, miedo, desprecio, ira y sorpresa por medio de un software desarrollado mediante la API de reconocimiento de emociones de Microsoft y lenguaje de programación C#. El trabajo (Gligoric et al., 2015) describe y analiza el impacto de varios parámetros del ambiente físico en el aula de clase sobre la habilidad para concentrarse sobre una lectura en un ambiente de clase real utilizando dispositivos inteligentes de bajo costo. La investigación está basada sobre un conjunto de datos coleccionados de 14 lecturas atendidas por 197 estudiantes. Fueron medidos cinco parámetros del ambiente físico y extraídas 22 características de la voz del lector. Usaron el conjunto de datos para probar diferentes clasificadores y su habilidad para clasificar correctamente los estudiantes concentrados de los no concentrados.

El trabajo (Cueva et al., 2017) muestra un estudio que captura, registra y analiza el nivel de estrés de un estudiante universitario durante una clase que involucra una evaluación. El nivel de estrés se estimó por medio de la interfaz cerebro-computador Emotiv Insight, el cual logra reflejar algunos cambios en los estados emotivos del estudiante. El propósito del trabajo (Zhong & others, 2020) es monitorear la salud de los estudiantes en actividades físicas en tiempo real. Los médicos monitorean parámetros como temperatura corporal, ritmo cardíaco y posición de presión. La seguridad del paciente es rastreada usando sensores enlazados al modelo de reconocimiento y monitoreo de actividad física (*Physical Activity Recognition and Monitoring - PARM*) el cual es considerado un paradigma inteligente de salud.

En el trabajo (Uzelac et al., 2015), se revisan diferentes teorías de la emoción, se representan varios métodos de reconocimiento de emociones y se discuten sus ventajas y desventajas para su

utilización en los sistemas de aprendizaje electrónico. Según los resultados de esta investigación, los sistemas multimodales de reconocimiento de emociones a través de la fusión de información como expresiones faciales, gestos corporales y mensajes del usuario proporcionan una mayor eficiencia que los monomodales.

Medir la atención del estudiante es una parte esencial de la valoración educacional. Como desarrollar nuevos estilos de aprendizaje, nuevas herramientas y métodos de valoración también son necesitados. En (Farhan et al., 2018) se enfocan en desarrollar un marco de interacción basado en IoT y análisis de la experiencia del estudiante de aprendizaje electrónico (eLearning). Los comportamientos de aprendizaje de los estudiantes que asisten a video conferencias remotas son evaluados registrando su comportamiento y analizando los datos multimedia resultantes utilizando algoritmos de aprendizaje automático. Se establece un algoritmo de puntuación de atención, su flujo de trabajo y la formulación matemática para la evaluación inteligente de la experiencia de aprendizaje del alumno. Esta configuración tiene un módulo de recopilación de datos, que puede reproducirse implementando el algoritmo en cualquier lenguaje de programación moderno. Algunas caras, ojos, y el estado de los ojos se extraen de la transmisión de video tomada de una cámara web usando este módulo. La información extraída se guarda en un conjunto de datos para su posterior análisis. El análisis del conjunto de datos produce resultados interesantes para las evaluaciones de aprendizaje de los estudiantes.

4. CONCLUSIONES

Las Universidades deben afrontar con responsabilidad la producción de innovación científico-tecnológica y académica como lo estipula el modelo de educación 4.0 mediante procesos de investigación e incorporación de tecnologías innovadoras. La I4.0 demanda la formación de ingenieros con competencias de gestión de proyectos, trabajo en equipo multidisciplinarios, liderazgo, aprovechamiento de las redes sociales, entre otros. Son aspectos claves también el desarrollo del pensamiento sistémico para la solución de problemas, y competencias digitales avanzadas. Nuevos cursos y fábricas de aprendizaje deben ser incorporados en los programas de ingeniería para lograr un mejor acercamiento a las necesidades de la I4.0. Tecnologías emergentes tales como el IoT están

transformado el sistema de educación tradicional como lo conocemos en un escalable, adaptable, flexible y más eficiente ambiente de aprendizaje. El amplio número de objetos inteligentes interconectados en un aula y campus inteligente puede llevar a realizar sistemas capaces de predecir y determinar las necesidades educacionales particulares de los estudiantes.

REFERENCIAS

- Abbasy, M. B., & Quesada, E. V. (2017). Predictable influence of IoT (Internet of Things) in the higher education. *International Journal of Information and Education Technology*, 7(12), 914–920.
- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., & others. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals*, 66(2), 803–826.
- Alvear Puertas, V. E. (2017). *Sistema electrónico con aplicación IOT para monitoreo facial que brinde estimadores de desconcentración del estudiante universitario en el aula a escala de laboratorio*.
- Alves, A. C., Sousa, R. M., Fernandes, S., Cardoso, E., Carvalho, M. A., Figueiredo, J., & Pereira, R. M. S. (2016). Teacher's experiences in PBL: implications for practice. *European Journal of Engineering Education*, 41(2), 123–141.
- Alves, C., & Putnik, G. (2019). Experiential Learning of CAD Systems Interoperability in Social Network-based Education. *Procedia CIRP*, 84, 209–214.
- Bagheri, M., & Movahed, S. H. (2016). The effect of the Internet of Things (IoT) on education business model. *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, 435–441.
- Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., & Vocke, C. (2015). Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0.” *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.200>
- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 2195–2202.
- Botta, A., De Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684–700.
- Cantabella, M., Martínez-España, R., Ayuso, B., Yáñez, J. A., & Muñoz, A. (2019). Analysis of student behavior in learning management systems through a Big Data framework. *Future Generation Computer Systems*, 90, 262–272.
- Catal, C., & Tekinerdogan, B. (2019). Aligning Education for the Life Sciences Domain to Support Digitalization and Industry 4.0. *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.032>
- Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., & Wang, H. (2014). A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(4), 349–359.
- Ciolacu, M., Svasta, P. M., Berg, W., & Popp, H. (2017). Education 4.0 for tall thin engineer in a data driven society. *2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 432–437.
- Cocksun, S., Kayikci, Y., & Gençay, E. (2019). Adapting engineering education to industry 4.0 vision. *Technologies*, 7(1), 10.
- Cueva, L. A. M., Cortés, C. A. P., Delgado, M. M., Villamizar, S. B. C., & García, A. P. (2017). Registro de neuroseñales con una Interfaz Cerebro-Computador para estimar el nivel estrés en un estudiante durante una clase. *INGE CUC*, 13(2), 95–101.
- Elbestawi, M., Centea, D., Singh, I., & Wanyama, T. (2018). SEPT learning factory for industry 4.0 education and applied research. *Procedia Manufacturing*, 23, 249–254.
- Ellahi, R. M., Khan, M. U. A., & Shah, A. (2019). Redesigning Curriculum in line with Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 151, 699–708.
- Farhan, M., Jabbar, S., Aslam, M., Hammoudeh, M., Ahmad, M., Khalid, S., Khan, M., & Han, K. (2018). IoT-based students interaction framework using attention-scoring assessment in eLearning. *Future Generation Computer Systems*, 79, 909–919.
- Gélvez-Rodríguez, L. F., & Santos-Jaimes, L. M. (2020). Internet de las Cosas: una revisión sobre los retos de seguridad y sus contramedidas. *Revista Ingenio*, 17(1), 56–64.
- Gligoric, N., Uzelac, A., Krco, S., Kovacevic, I., & Nikodijevic, A. (2015). Smart classroom system for detecting level of interest a lecture creates in a classroom. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 7(2), 271–284.
- Grodotzki, J., Ortelt, T. R., & Tekkaya, A. E. (2018). Remote and virtual labs for engineering education 4.0: achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. *Procedia Manufacturing*, 26, 1349–1360.
- Harkins, A. M., & others. (2008). Leapfrog principles and practices: Core components of education 3.0 and 4.0. *Futures Research Quarterly*, 24(1), 19–31.
- Heritage, I. (2019). Protecting Industry 4.0: challenges and solutions as IT, OT and IP converge. *Network Security*, 2019(10), 6–9.
- Iglesia Villasol, M. C. de la. (2019). Caja de herramientas 4.0 para el docente en la era de la evaluación por competencias. *Innovación Educativa (México, DF)*, 19(80), 93–112.
- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., & Ramsauer, C. (2017). Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing*, 9, 206–213.
- Lanz, M., Pieters, R., & Ghabcheloo, R. (2019). Learning environment for robotics education and industry-academia collaboration. *Procedia*

- Manufacturing*, 31, 79–84.
- Leal, L. F., Fleury, A., & Zancul, E. (2020). Starting up a Learning Factory focused on Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 45, 436–441.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
- Lensing, K., & Friedhoff, J. (2018). Designing a curriculum for the Internet-of-Things-Laboratory to foster creativity and a maker mindset within varying target groups. *Procedia Manufacturing*, 23, 231–236.
- Liu, Z., Yang, B., & Lu, T. (2015). Laboratory Instruments Management System Based on IOT. *2015 International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation*.
- Louw, L., & Deacon, Q. (2020). Teaching Industrie 4.0 technologies in a learning factory through problem-based learning: case study of a semi-automated robotic cell design. *Procedia Manufacturing*, 45, 265–270.
- Lu, Y., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2018). Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 285–297.
- Madakam, S., Lake, V., Lake, V., Lake, V., & others. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- Mavrikios, D., Georgoulas, K., & Chryssolouris, G. (2018). The teaching factory paradigm: Developments and outlook. *Procedia Manufacturing*, 23, 1–6.
- Mesquita, M. A. de, Mariz, F. B. de A. R., & Tomotani, J. V. (2017). The Skateboard Factory: a teaching case on discrete-event simulation. *Production*, 27(SPE).
- Moner, A. F. M., & García, A. P. (2018). Design of intelligent expert system with inference by micro and nanoinstrumentation. Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2018-July
doi:10.18687/LACCEI2018.1.1.401
- Motyl, B., Baronio, G., Uberti, S., Speranza, D., & Filippi, S. (2017). How will change the future engineers' skills in the Industry 4.0 framework? A questionnaire survey. *Procedia Manufacturing*, 11, 1501–1509.
- Mourtzis, D., Vasilakopoulos, A., Zervas, E., & Boli, N. (2019). Manufacturing System Design using Simulation in Metal Industry towards Education 4.0. *Procedia Manufacturing*, 31, 155–161.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V. (2018). Cyber-physical systems and education 4.0--The teaching factory 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 23, 129–134.
- Promyoo, R., Alai, S., & El-Mounayri, H. (2019). Innovative Digital Manufacturing Curriculum for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 34, 1043–1050.
- Roza-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177–192.
- Scholz, J.-A., Sieckmann, F., & Kohl, H. (2020). Implementation with agile project management approaches: Case Study of an Industrie 4.0 Learning Factory in China. *Procedia Manufacturing*, 45, 234–239.
- Tonguç, G., & Ozkara, B. O. (2020). Automatic recognition of student emotions from facial expressions during a lecture. *Computers & Education*, 103797.
- Uzelac, A., Gligoric, N., & Krco, S. (2015). A comprehensive study of parameters in physical environment that impact students focus during lecture using Internet of Things. *Computers in Human Behavior*, 53, 427–434.
- Zapata-Ros, M. (2018). *La universidad inteligente: La transición de los LMS a los Sistemas Inteligentes de Aprendizaje en Educación Superior*.
- Zhong, C.-L., & others. (2020). Internet of things sensors assisted physical activity recognition and health monitoring of college students. *Measurement*, 107774.

SITIOS WEB

- Gerber, A. (2017a). *Choosing the best hardware for your next IoT project*.
<https://developer.ibm.com/technologies/iot/articles/iot-lp101-best-hardware-devices-iot-project/>. (Consultado: 10 de octubre 2020)
- Gerber, A. (2017b). *Connecting all the things in the Internet of Things*, IBM Corporation.
<https://developer.ibm.com/technologies/iot/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/>. (Consultado: 10 de octubre 2020)
- Gerber, A. (2018). *Streamlining the development of your IoT applications by using an IoT platform*, IBM Corporation,