

Revisión sistemática de la literatura y análisis web de tendencias de innovación en la
Ingeniería Industrial

José Luis Sepúlveda Ortiz

Directora

Edna Rocío Bravo Ibarra

PhD. en administración de empresas

Codirectora

Daniela Arrieta Charris

Ingeniera Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A mi familia que ha confiado incondicionalmente en mí, especialmente a mi madre Ángela y mi hermana Karen quienes han sido un apoyo fundamental en este proceso. Gracias por guiarme en este camino lleno de sacrificios.

A mi abuelo Víctor quien siempre confió en que lograría este éxito.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirme la culminación de este logro, como miembro de esta alma máter.

A mi directora de trabajo de grado, por su acompañamiento y apoyo en el desarrollo del proyecto.

A los docentes de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, cuya pasión es enseñar y orientar a los estudiantes a ser mejores profesionales.

A mis compañeros que hicieron parte de este proceso y quienes dedicaron junto a mí, horas de estudio para lograr esta meta.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Generalidades del proyecto.....	15
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo general	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Planteamiento del problema	16
2. Marco referencial	17
2.1 Marco de antecedentes	17
2.2 Marco teórico	23
2.2.1 Revisión sistemática.....	23
2.2.1.1 Formulación de las preguntas de investigación.	24
2.2.1.2 Localización de la literatura.....	25
2.2.1.3 Selección y evaluación de los artículos localizados.	25
2.2.1.4 Análisis y síntesis del contenido.....	25
2.2.1.5 Presentación de los resultados.	26
2.2.2 Conceptos clave	26
2.2.2.1 Innovación.....	26

2.2.2.2 Innovación educativa.....	27
2.2.2.3 Innovación disruptiva.....	28
3. Metodología.....	29
3.1 Metodología revisión sistemática.....	29
3.2 Metodología análisis web.....	30
3.2.1 Definición de palabras clave.....	31
3.2.2 Selección de tweets.....	31
3.2.3 Lectura y análisis de resultados.....	31
4. Planificación.....	31
4.1 Definición de la pregunta de investigación.....	32
4.2 Protocolo de revisión.....	32
5. Selección y análisis.....	35
5.1 Identificación de bases de datos.....	35
5.2 Creación de la ecuación de búsqueda.....	36
5.3 Identificación y selección de los artículos.....	40
5.4 Evaluación de calidad de los artículos.....	40
5.5 Análisis y síntesis de datos.....	41
5.5.1 Análisis bibliométrico.....	41
5.5.2 Revisión de literatura.....	49
6. Documentación.....	50

7. Resultados de la investigación	50
7.1. Tendencias de innovación en la industria	51
7.1.1 Tecnologías clave.....	51
7.1.2 Sistemas ciberfísicos	54
7.1.2.1 Internet de las cosas.	56
7.1.2.1.1 Internet industrial de las cosas IIOT.	57
7.1.2.1.2 Internet de las cosas robóticas IoRT.	59
7.1.2.1.3 Internet de las cosas y los servicios IoTS.	59
7.1.2.2 Gemelo digital.....	60
7.1.2.3 Fabricación integrada.....	61
7.1.2.3.1 Integración vertical.	61
7.1.2.3.2 Integración horizontal.	62
7.1.2.3.3 Integración extremo a extremo.	62
7.1.2.3.4 Arquitectura empresarial.....	63
7.1.3 Aprendizaje automático.	65
7.2 Tendencias de innovación en la educación de ingeniería	67
7.2.1 Aprendizaje basado en proyectos y colaborativo.....	68
7.2.1.1 Educación STEM.	69
7.2.2 Makerspaces.....	74
7.2.3 Lean-Thinking-Learning.....	79
7.2.3.1 Aprendizaje experiencial.	80
7.2.3.2 Aprendizaje basado en desafíos.	81
7.2.3.3 Aprendizaje basado en competencias.	82

7.2.3.4 Lean Manufacturing.....	83
7.2.4 Modelos de innovación.....	83
7.2.4.1 Design Thinking.....	84
7.2.4.2 Doble Diamante.....	86
7.2.4.3 CDIO 2.0.....	88
7.2.5 Interacción Industria - Universidad.....	91
7.2.5.1 Barrios de innovación.....	92
7.2.6 Educación 4.0.....	94
7.2.6.1 Programas educación 4.0.....	95
8. Conclusiones.....	97
Referencias Bibliográficas.....	99

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Cumplimiento de los objetivos.</i>	14
Tabla 2. <i>Metodología del proyecto.</i>	29
Tabla 3. <i>Criterios de inclusión y exclusión.</i>	34
Tabla 4. <i>Ecuación de búsqueda preliminar Scopus.</i>	36
Tabla 5. <i>Ecuación de búsqueda final Scopus.</i>	37
Tabla 6. <i>Ecuación de búsqueda preliminar Web Of Science.</i>	38
Tabla 7. <i>Ecuación de búsqueda final Web Of Science.</i>	39
Tabla 8. <i>Documentos preseleccionados para la revisión sistemática.</i>	40
Tabla 9. <i>Documentos seleccionados para la revisión sistemática.</i>	40
Tabla 10. <i>Tecnologías clave en la ingeniería industrial.</i>	52
Tabla 11. <i>Niveles para un proceso de planeación de arquitectura empresarial.</i>	64
Tabla 12. <i>Pasos para la resolución de problemas en la educación STEM.</i>	70
Tabla 13. <i>Etapas para el proceso de diseño de Vigilante Innovation.</i>	74
Tabla 14. <i>Tipos de Makerspaces</i>	78
Tabla 15. <i>Descripción de las etapas del Design Thinking.</i>	85
Tabla 16. <i>Descripción de las etapas del doble diamante</i>	87
Tabla 17. <i>Etapas del CDIO.</i>	88
Tabla 18. <i>Estándares del modelo CDIO 2.0.</i>	89
Tabla 19. <i>Nuevos programas de CPS en el mundo.</i>	96

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Enfoques de la innovación.</i>	19
Figura 2. <i>Pasos para la metodología de investigación.</i>	24
Figura 3. <i>Documentos por base de datos.</i>	41
Figura 4. <i>Número de documentos por año.</i>	42
Figura 5. <i>Documentos por autor.</i>	43
Figura 6. <i>Número de documentos publicados por país.</i>	44
Figura 7. <i>Tipos de documentos publicados.</i>	45
Figura 8. <i>Publicaciones por área de investigación.</i>	46
Figura 9. <i>Palabras clave con número de ocurrencias y fuerza total de enlace.</i>	47
Figura 10. <i>Mapa de coocurrencia de palabras clave.</i>	48
Figura 11. <i>Mapa de densidad de coocurrencia de palabras clave.</i>	49
Figura 12. <i>Tendencias de los sistemas ciberfísicos.</i>	56
Figura 13. <i>Relevancia de la educación STEM en distintos campos disciplinarios.</i>	72
Figura 14. <i>Integración de la educación Maker.</i>	77
Figura 15. <i>Modelos de innovación y sus fases.</i>	84
Figura 16. <i>Etapas del design Thinking.</i>	85
Figura 17. <i>Etapas del doble diamante.</i>	87
Figura 18. <i>Activos en los barrios de innovación.</i>	93
Figura 19. <i>Evolución en la educación.</i>	94

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Artículo de carácter publicable.

Resumen

Título: Revisión sistemática de la literatura y análisis web de tendencias de innovación en la ingeniería industrial*

Autor: José Luis Sepúlveda Ortiz**

Palabras Clave: Innovación, ingeniería industrial, educación, industria 4.0.

Descripción: Las transformaciones sociales y tecnológicas que ha traído consigo la cuarta revolución industrial demanda que las universidades y escuelas enfoquen sus metodologías y estructuras hacia una visión basada en la innovación, dotando a los futuros profesionales de las habilidades necesarias para ser competentes en un mundo laboral y un mercado cada vez más dinámico y acelerado. En el marco del plan de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, este trabajo busca contribuir con la identificación y caracterización de las principales tendencias de innovación en la ingeniería industrial, a través de una revisión sistemática de literatura, consultando información de los últimos seis años de las bases de datos Scopus y Web Of Science, y complementando el trabajo investigativo con un análisis web utilizando Twitter como motor de búsqueda. Se dividió el trabajo en dos vertientes: las tendencias de innovación en la industria y en la educación de ingeniería.

Los resultados muestran un enfoque de la industria en sistemas ciberfísicos y aprendizaje automático basados en tecnologías clave, mientras que la educación se está moviendo hacia un aprendizaje basado en proyectos, colaborativo y multidisciplinario, con una relación cada vez más estrecha entre las universidades y la industria. La documentación de la metodología utilizada y los resultados se presentan en detalle en este documento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Edna Rocío Bravo Ibarra. PhD en administración de empresas. Codirector: Daniela Patricia Arrieta Charris. Ingeniera Industrial.

Abstract

Title: Systematic literature review and web analysis of innovation trends in industrial engineering*

Author: José Luis Sepúlveda Ortiz**

Key Words: Innovation, industrial engineering, education, industry 4.0.

Description: The social and technological transformations that the fourth industrial revolution has brought with itself, demand that universities and schools focus their methodologies and structures towards a vision based on innovation, providing future professionals with the necessary skills to be competent in a world of work and a increasingly dynamic and accelerated market. Within the framework of the innovation plan of the School of Industrial and Business Studies of the Industrial University of Santander, this work seeks to contribute to the identification and characterization of the main innovation trends in industrial engineering, through a systematic literature review, consulting information from the last six years from the Scopus and Web Of Science databases, and complementing the research work with a web analysis using Twitter as a search engine. The work was divided into two streams: innovation trends in industry and innovation trends in engineering education.

The results show an industry focus on cyber-physical systems and machine learning based on key technologies, while education is moving towards project-based, collaborative and multidisciplinary learning, with an increasingly close relationship between universities and industry. The documentation of the methodology used and the results are presented in detail in this document.

* Degree Work

** Faculty of Mechanical Physical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Director: Edna Rocío Bravo Ibarra. PhD in Business Administration. Co-director: Daniela Patricia Arrieta Charris. Ingeniera Industrial.

Introducción

Con el pasar de los años, la ingeniería industrial se ha destacado como una profesión de connotación interdisciplinaria que forma profesionales con conocimientos y habilidades para desempeñarse con éxito en cualquier industria. Según Guédez (2011), la ingeniería industrial tiene un extenso campo de aplicaciones en todos los sectores de la producción, incluyendo: planeación, control de calidad, administración, recursos humanos, diseño, desarrollo e innovación, procesos industriales y reingeniería, sistemas de información, evaluación de proyectos, planeación estratégica, logística, investigación de operaciones, entre otros. Es una disciplina dedicada no solamente al diseño y administración, sino también a la innovación y mejora de los sistemas integrados de recursos humanos, materiales, equipo y tecnologías, organizados para la producción eficiente y eficaz de productos y servicios (Romero et al., 2006).

En las últimas décadas, el mundo ha ido cambiando de forma cada vez más acelerada, llevando consigo transformaciones sociales y tecnológicas que exigen nuevos profesionales que puedan adaptarse a las nuevas necesidades. Uno de los elementos principales de estas transformaciones es la transformación digital, que ha impactado en un gran número de industrias y que evoluciona de modo exponencial, ocasionando que las organizaciones y sus modelos de negocio también cambien. Salim (2016) dice que “Durante los próximos años, vamos a enfrentarnos a disrupciones radicales en todas las industrias, no solo provocadas por el gran porcentaje de transformación digital que todavía queda por llegar, sino también por la llegada de muchas otras tecnologías exponenciales que van a converger entre sí” (p. 9).

Es por eso que la innovación se convierte en una herramienta fundamental en la ingeniería industrial para generar organizaciones que crezcan, al igual que los cambios y tecnologías, de forma exponencial. La innovación es uno de los motores fundamentales de las

organizaciones y como tal de su sostenibilidad económica, crecimiento y evolución (Robayo, 2016).

La Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, cuyo propósito fundamental es la formación integral de ciudadanos profesionales contribuyendo al desarrollo de la sociedad y fomentando el crecimiento industrial y económico de la región, fundamentado en el conocimiento científico, la calidad de las soluciones y la responsabilidad social (UIS, 2020), no puede ser ajena a estos cambios y debe estar actualizada en las tendencias de innovación de la ingeniería industrial en su rol como ente formador de profesionales. Para ello, se debe tener en cuenta no solamente las tendencias de innovación en la industria, sino también las generadas desde la educación del futuro profesional.

Así pues, en el marco del plan estratégico de innovación de la EEIE, este proyecto de investigación busca contribuir, a través de una revisión sistemática de la literatura y análisis web, a identificar, analizar y caracterizar las principales tendencias de innovación, tanto en la educación, como en el campo profesional, de la ingeniería industrial, que sirva como análisis externo y genere una base de conocimiento integrando la información existente.

Tabla 1.

Cumplimiento de los objetivos.

Objetivo	Cumplimiento
Objetivo general	
Realizar una revisión sistemática de la literatura y análisis web de las tendencias de innovación de la ingeniería industrial para la elaboración del plan estratégico de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la	7. Resultados de la investigación

Universidad Industrial de Santander.

Objetivos específicos

Realizar una revisión sistemática de la literatura y análisis web sobre el tópico “tendencias de innovación en la ingeniería industrial”.

3. Metodología
4. Planificación
5. Selección y análisis

Caracterizar las principales tendencias y prácticas identificadas de innovación de la ingeniería industrial

7. Resultados de la investigación

Elaborar un artículo de carácter publicable que sintetice los principales hallazgos de la investigación.

Apéndice A. Artículo científico

1. Generalidades del proyecto

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo general*

Realizar una revisión sistemática de la literatura y análisis web de las tendencias de innovación de la ingeniería industrial para la elaboración del plan estratégico de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Realizar una revisión sistemática de la literatura científica y análisis web sobre el tópico “tendencias en innovación en la ingeniería industrial”.
- Caracterizar las principales tendencias y prácticas identificadas de innovación de la ingeniería industrial.

- Elaborar un artículo de carácter publicable que sintetice los principales hallazgos de la investigación.

1.2 Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, el ser humano ha usado sus capacidades intelectuales para satisfacer sus necesidades básicas y resolver los problemas que el entorno le ha exigido. La ingeniería nace como una respuesta a las necesidades del hombre de encontrar mecanismos e instrumentos que le permitieran obtener los recursos necesarios con mayor eficacia, en menor tiempo y costo. Según Santiago y Allende (2017), "la ingeniería se define como el conjunto de conocimientos empíricos y teóricos, que son aplicados de forma coherente y disciplinar, con el fin de utilizar y transformar recursos y sistemas para diseñar, construir y dar servicios con propósitos sociales". Sin embargo, a medida que la civilización ha ido creciendo, las necesidades del hombre han ido cambiando y los retos que la ingeniería debe resolver son cada vez más complejos. Así pues, la ingeniería es una profesión que constantemente se va renovando, creando nuevos conceptos, desarrollándose y evolucionando de forma paralela al progreso de la humanidad como sociedad.

Producto de esta evolución, se fueron creando distintas disciplinas entre las que se encuentra la ingeniería industrial, la cual se ocupa de planificar, mejorar e instalar sistemas integrados por personas, materiales y equipos, además de especificar, predecir y evaluar los resultados que habrán de obtenerse de tales sistemas (Aldana, 2017).

El avance de la tecnología y los constantes cambios que se ven en un mundo cada vez más versátil, han generado que las empresas, instituciones y el mercado en general, exijan profesionales que, no solamente estén capacitados académica, científica y tecnológicamente, sino

que, además, tengan habilidades creativas e innovadoras para enfrentar los retos que exige la sociedad actual

Durán y Rosado (2019), expresan en "Aprendizaje activo e innovación en estudiantes de ingeniería", que, en ese sentido, las universidades deben estar en sintonía con esas necesidades y requerimientos, por lo cual, los programas académicos deben hacer uso de metodologías que impulsen y desarrollen estas habilidades innovadoras.

La innovación es una herramienta fundamental para crear organizaciones exponenciales, las cuales definen Ismail, Malone y van Geest (2017), en su libro "Organizaciones exponenciales", como aquellas organizaciones que generan disrupción y transforman industrias en un periodo corto de tiempo, mediante nuevas técnicas organizativas a través de la innovación.

Este trabajo de investigación, sirve como aporte al plan estratégico de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, buscando analizar y caracterizar las tendencias de innovación en la ingeniería industrial, con el objetivo de apropiar dichas tendencias para que nos lleven a un crecimiento exponencial.

2. Marco referencial

2.1 Marco de antecedentes

Se hizo una búsqueda y análisis de trabajos e investigaciones realizados en los últimos cinco años, que hayan abordado de forma importante el tema de investigación, con el objetivo de tener una base y soporte para la realización del presente proyecto. Primeramente, se realizó la búsqueda en la biblioteca virtual de la Universidad Industrial de Santander, evidenciando la ausencia de trabajos relacionados con este proyecto. Por ende, se ha realizado la búsqueda en

otras bases de datos de distintas universidades y fuentes, encontrando trabajos cuyas investigaciones son similares y pueden hacer un aporte significativo para el tema de estudio.

De los resultados encontrados, se destaca en primera instancia el trabajo "Innovación en empresas: estado del arte considerando tendencias para su implementación" (Velásquez, Pino, Restrepo & Viana, 2018) cuyo objetivo es identificar estrategias y tendencias en materia de innovación, a nivel nacional e internacional, del sector empresarial, con el fin de enriquecer el marco conceptual sobre la temática y proporcionar criterios de elegibilidad para las organizaciones que busquen definir una estrategia de innovación.

El trabajo resalta la importancia de definir el enfoque de cada organización como primer paso y detalla algunos tipos de innovaciones según este enfoque. Además, clasifica la innovación separándola según su intención tecnológica u organizacional y comercial. Se hace énfasis en reconocer el grupo de actividades que realiza la empresa, conociendo sus diferencias, aportes, peso en la organización y, sobre todo, las interacciones que hay entre cada una de ellas, ya que las formas de relación entre las distintas actividades deben adecuarse al plan de innovación de la empresa. El factor social también es subrayado, ya que se debe prestar atención a los procesos cognitivos de los grupos de trabajo, entendiendo que el desarrollo de la innovación implica comportamientos y decisiones a nivel individual. La metodología utilizada es un análisis de tipo documental, haciendo una examinación de las clases de innovación y sus actividades para identificar tendencias en su implementación.

En las conclusiones de esta investigación, se destaca la identificación de tres enfoques de innovación: Operativo, de estructura-conducta-resultados, y basado en recursos, como se aprecia en la figura 9:

Figura 1.*Enfoques de la innovación.*

Enfoque	Descripción
Operativo	Se enfoca en las actividades de I+D, como el uso de tecnología y desarrollo tecnológico
estructura-conducta- resultados	Se basa en análisis sectoriales en el desarrollo de productos y tecnología de información
Basado en recursos	Fomenta la innovación dentro de éstos como el capital intelectual y el seguimiento de planes de carrera

Además, se pudo establecer que las empresas realizan diversos tipos de innovación según sus necesidades particulares, pero que estas deben ir de forma paralela a la planeación estratégica de la organización para que haya una adecuada articulación entre actividades y metas. Finalmente, se destaca el potencial de la transferencia tecnológica como herramienta para fortalecer la cultura de innovación en las empresas y el papel vital de las entidades del estado y el sector privado para impulsarla. Este trabajo tiene una relación importante con el proyecto a desarrollar, ya que identifica tendencias de innovación en el sector empresarial, en donde los futuros ingenieros industriales se van a desenvolver de forma profesional. Además, la metodología utilizada es una base importante de conocimiento para el desarrollo del trabajo.

Por su parte, el trabajo "Revisión documental de las tendencias temáticas de ingeniería industrial en los continentes de Europa, Asia y África" de Henry Fernando Aldana, de la Universidad Católica de Colombia, tiene como objetivo general "desarrollar una revisión documental para buscar las coincidencias temáticas a nivel de los continentes Europa, Asia y África en el programa de ingeniería industrial" (Aldana, 2017), para identificar tendencias y así ayudar a fortalecer el programa académico en la universidad. El trabajo realiza un análisis a través de la cibermetría, la cual es una disciplina que hace un estudio cuantitativo de internet y

contenidos de generación y comunicación académica del conocimiento científico en la red. De esta manera, el autor puede conocer la posición de la Universidad Católica en el programa de ingeniería industrial en el mundo.

El proyecto comprende tres etapas: la primera, identificar los países y universidades objeto de estudio, a través de unos filtros que tienen como criterio indicadores internacionales. La segunda, consiste en el análisis de los programas identificados, realizando una comparación de perfiles, objetivos y estructura, para definir las tendencias temáticas. Y la tercera, comprende la propuesta temática acorde a los resultados sugiriendo unos cambios para incrementar el nivel de competitividad actual.

Como conclusiones, el autor resalta la tendencia de las universidades a implementar la innovación en la búsqueda de la mejora de sus programas académicos, identificando como mayor tendencia las relacionadas con la gestión del talento humano, debido a la capacidad que debe tener un ingeniero industrial para medir y administrar el desempeño de los trabajadores, a través de herramientas que permitan tener una visión clara de las competencias necesarias en una compañía para alcanzar el éxito individual y organizacional. Además, destaca la creciente demanda de profesionales en este campo. Finalmente, el autor prepondera la enseñanza y uso de herramientas que permitan hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de datos de investigación y sugiere el fortalecimiento del uso de estas por parte de la universidad para aumentar la capacidad investigativa de sus estudiantes.

Debido a que este trabajo busca las tendencias temáticas de la ingeniería industrial, guarda una relación con el presente proyecto de grado, debido a que se pudo observar que varias tendencias identificadas guardaban estrecha relación con la innovación, siendo esta un factor

primario que buscan las universidades en la actualidad, en su afán de mejorar sus programas académicos.

En la Universidad de San Buenaventura, de Cali, Colombia, se desarrolló el proyecto "Estrategias de innovación y capital social en la pequeña y mediana empresa" (Mejía, Mendieta y Bravo, 2015), cuyo objetivo es realizar una combinación entre los factores de innovación y capital social, y exponer su incidencia en la productividad y competitividad de las pymes, es decir, pequeñas y medianas empresas.

Como objeto de estudio, el trabajo selecciona pymes del sector de confecciones, realizando una encuesta para conocer la incidencia de los factores de innovación y capital social en el mejoramiento de su productividad y competitividad. Se encuentra que el desarrollo competitivo obedece en mayor medida a los recursos humanos e intelectuales de la empresa, al igual que al tipo de relaciones entre los distintos agentes del sistema económico. Los autores afirman que la incorporación de conocimientos que generen innovaciones, está ligada al afianzamiento de las relaciones sociales en la cual se encuentra inmersa.

Como resultado de este trabajo, se encuentra que las pymes de este sector no están ubicadas en un nivel de competitividad deseado, debido a que se enfatizan los esfuerzos en las áreas productivas, descuidando otros procesos como: planeación estratégica, gestión del conocimiento y posicionamiento de marcas. También se muestra la poca relación que existe entre estas empresas y las instituciones que promueven el desarrollo e innovación de la ciencia y tecnología, generando que no se adquiera el conocimiento necesario para tener un desarrollo tecnológico y productivo que pueda representar un avance en la competitividad. Se concluye que los principales motivos por los que no se está incluyendo la innovación es por la falta de

inversión en investigación, desarrollo y capacitación, bajo nivel de integración vertical y horizontal y una pobre gestión de cadena de valor.

Este trabajo, aunque no tiene mucha similitud en el aspecto metodológico con el presente proyecto de grado, si demuestra la necesidad del mismo, mostrando como las pequeñas y medianas empresas requieren ingenieros industriales y profesionales con una visión clara de la innovación, para aumentar la incidencia en la productividad y competitividad de las empresas. Por eso se hace necesario caracterizar las tendencias de innovación de la ingeniería industrial, para que los futuros profesionales puedan aplicarla en las pymes.

Finalmente, se revisó el trabajo "Los MOOC: Un análisis desde una perspectiva de la innovación institucional universitaria" (García, Fidalgo y Sein, 2017), el cual tiene como objetivo visualizar la trayectoria de la innovación universitaria que ha conducido a la aparición de los MOOC (Massive Open Online Course), analizando su impacto y evolución. El trabajo resume los inicios y la evolución de los cursos abiertos masivos en línea, que se ha consolidado en el tiempo como buena práctica de gestión y política universitaria. Los autores reconocen a la universidad como un agente primordial de la innovación, separándola en tres tipos: innovación docente, innovación en proyectos de investigación y desarrollo, y la innovación institucional. Además, afirman la importancia de la integración de estos tres tipos para considerar la innovación educativa como buena práctica de gestión y política.

El desarrollo del trabajo muestra la evolución y consolidación de los tipos de innovación hasta llegar a los MOOC, afirmando que se ha llegado a un mayor alcance en procesos, contenido e interacción entre docentes y estudiantes, y analiza el impacto actual con indicadores como la deserción estudiantil, mostrando una disminución anual debido a la facilidad de masificación y heterogeneidad que tienen estas herramientas.

Como conclusiones, los autores resaltan la importancia de utilizar los MOOC y como estas pueden abrir nuevos caminos prometedores a la universidad. No solamente son útiles para la enseñanza y el afianzamiento entre docente y alumno, sino también sirve como canal de divulgación masivo, mayor repercusión y entrada de los programas académicos al público objetivo. En miras del plan de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, este trabajo muestra una relación interesante con el presente proyecto de grado, debido a que muestra una tendencia de innovación en la educación actual, que podría adoptar la escuela en la búsqueda de formar profesionales cada vez más capacitados.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Revisión sistemática

Aguilera (2014), la define como una forma de investigación que recopila y brinda un resumen sobre un tema en particular, orientado a solucionar un problema de investigación, realizado de acuerdo a un diseño preestablecido. Es un diseño de investigación retrospectivo y con base en la observación, el cual sintetiza los resultados obtenidos de una serie de investigaciones primarias (Beltrán y Óscar, 2005).

Para Aguilera (2014), las revisiones sistemáticas se dividen en dos tipos: las cualitativas y las cuantitativas o de metaanálisis. Las cualitativas presentan la información de forma descriptiva y sin hacer análisis estadístico, mientras que las cuantitativas o de metaanálisis combinan numéricamente los resultados obtenidos mediante el uso de técnicas estadísticas.

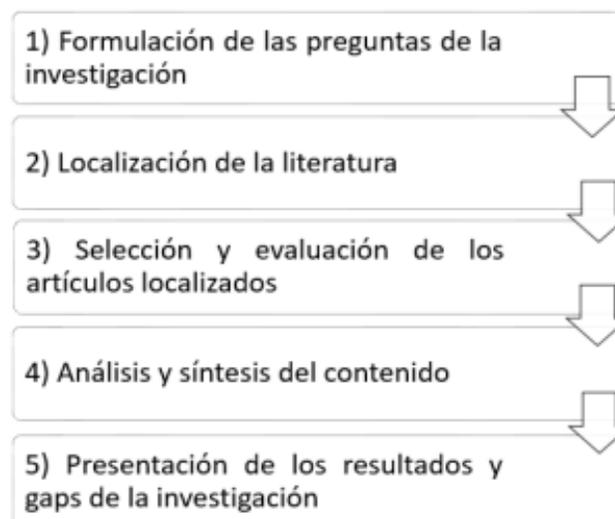
Sánchez (2010) de la Universidad de Murcia, define la revisión sistemática como un tipo de investigación que sirve para integrar de forma objetiva los resultados de estudios hechos de forma empírica sobre un determinado problema de investigación, y requiere el desarrollo de una

serie de etapas, las cuales son: formular el problema, definir los criterios de inclusión y exclusión, moderar los resultados mediante la codificación de las características de los estudios, medir el efecto y el alcance, y la interpretación y publicación de los resultados (Sánchez, 2010).

La metodología planteada en el documento "Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review", realizada por Denyer & Tranfield (2009), muestra los pasos a desarrollar en una revisión sistemática, y consta de cinco etapas: Formulación de las preguntas de investigación, localización de la literatura, selección y evaluación de los artículos, análisis y síntesis del contenido, y presentación de los resultados de investigación.

Figura 2.

Pasos para la metodología de investigación.



Nota: Tomado de "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review". Denyer y Tranfield (2009).

2.2.1.1 Formulación de las preguntas de investigación. Es el planteamiento de una incertidumbre, que permite el desarrollo de una estrategia y protocolo de trabajo que conducen a

resolver la incertidumbre inicial (Martin et. al., 2007). Según Pérez y Sandoval (2015), de la pregunta de investigación se deriva el título, la hipótesis y el objetivo de un trabajo investigativo, y es fundamental que sean congruentes entre sí. Es necesario evaluar primero su pertinencia para luego redactarla de forma factible y entendible.

2.2.1.2 Localización de la literatura. Definir un proceso de búsqueda exhaustivo e imparcial es un factor fundamental para una correcta revisión de literatura (Kitchenham, 2007). Denyer y Tranfield (2009), indican que es necesario realizar una búsqueda preliminar para encontrar palabras clave, y así poder relacionarlas con otros artículos de la temática buscada. Este paso implica la ubicación de los estudios, documentos y trabajos pertinentes para responder a las preguntas de investigación planteadas con anterioridad.

2.2.1.3 Selección y evaluación de los artículos localizados. Después de la etapa de localización, se deben aplicar unos criterios de inclusión y exclusión definidos con anticipación (Denyer y Tranfield, 2009). En esta etapa, se realiza una lectura de resúmenes, metodologías, principales resultados y conclusiones de los artículos localizados, con el fin de determinar si son relevantes para la investigación desarrollada (Novais, 2017).

2.2.1.4 Análisis y síntesis del contenido. Bajo (2004) define el análisis como la separación de las partes de un trabajo hasta conocer sus componentes fundamentales y las relaciones que existen entre ellos, mientras que la síntesis se refiere a la composición de sus partes y elementos. Esta construcción se puede lograr mediante la organización y fusión de los elementos de un trabajo. En el contexto de la revisión sistemática, consiste en mostrar el contexto de la literatura encontrada, clasificar y caracterizar los componentes encontrados en la investigación.

2.2.1.5 Presentación de los resultados. Monterola, Pineda y Vial (2007), definen esta etapa como el punto donde se muestran las conclusiones obtenidas de la investigación a través de la presentación de comunicaciones orales, conferencias, publicaciones, etc. Es recomendable que al final del trabajo se respondan las siguientes preguntas: ¿Qué problema se estudió y por qué?, ¿Cómo se estudió?, ¿Cuáles fueron los hallazgos? Y ¿Qué significan esos resultados?, de modo que se verifique que la investigación tiene la estructura adecuada.

2.2.2 Conceptos clave

2.2.2.1 Innovación. Drucker (2004), define la innovación como una función específica del emprendimiento, que puede surgir en una empresa o institución ya existente, o en un nuevo negocio. Es un medio por el cual se crean nuevos recursos generadores de riqueza o provee a los recursos que ya existen de mayor potencial para crearla. La mayoría de veces, la innovación es el resultado de una búsqueda de oportunidades que pueden darse en cuatro situaciones dentro de una empresa o sector: acontecimientos inesperados, incongruencias, necesidades de procesos y cambios sectoriales y de mercado. Además, hay tres situaciones adicionales que se dan de forma externa, las cuales son: los cambios demográficos, cambios de percepción y nuevo conocimiento.

Por su parte, Corma (2013), afirma que la innovación es "la conversión de ideas y conocimiento en productos, procesos o servicios mejorados para el mercado, satisfaciendo así las necesidades de los ciudadanos, empresas y administraciones públicas" (p.01). Es un factor clave en el rendimiento y productividad del trabajo, y en el crecimiento de valor. La innovación no está restringida únicamente a la creación de nuevos productos, y tampoco es sinónimo de una idea revolucionaria, sino que puede referirse a un nuevo servicio o forma en que se usa un producto, y puede ser una serie de pequeñas ideas que van generando un cambio de forma gradual.

La implementación de una idea o comportamiento de un proceso, servicio, programa, sistema, política o aparato, y que es nueva para la organización al momento de adoptarla, es otra definición de la innovación. Esta puede ser una recombinación de nuevas ideas, una fórmula o esquema que cambia el orden actual y que es percibida como nueva por los individuos implicados (Naranjo, Jiménez y Sanz, 2012). Damanpour (1991) propuso distintas tipologías para la innovación atendiendo dos criterios, por un lado, la naturaleza de esta, separándola entre técnica y administrativa, y, por otro lado, la radicalidad, separándola entre radical e incremental. La innovación ha sido ampliamente reconocida como una amplia fuente de ventaja competitiva y del efecto positivo que esta puede tener en el éxito de las organizaciones.

2.2.2.2 Innovación educativa. Cebrián de la Serna (2004), dice que la innovación educativa es "toda acción planificada para producir un cambio en las instituciones educativas que propicie una mejora en los pensamientos, en la organización y en la planeación política educativa, así como en las prácticas pedagógicas, que permita un desarrollo profesional e institucional con el compromiso y la comprensión de toda la comunidad educativa" (p.32). La innovación educativa intenta optimizar y mejorar los procesos de formación, aumentando la eficiencia en el dominio de la educación.

Por lo tanto, se trata de una transformación significativa en el ámbito educativo, donde no solamente se busca la mejora de la calidad, sino también facilitar la adquisición de conocimientos y optimizar el aprendizaje del estudiante, siempre y cuando esas acciones estén previamente planificadas y diseñadas (Salinas, 2008).

Por otro lado, Sein-Echaluze (2014) indica que la innovación educativa son aquellos cambios en la formación que producen mejoras en el proceso de aprendizaje, y para que se considere como tal, debe responder a unas necesidades, además de ser eficaz, eficiente,

sostenible en el tiempo y que sus resultados puedan ser transferibles más allá del contexto en el cual surgieron.

La innovación educativa surge teniendo un alcance local hasta alcanzar un alcance global, respondiendo a necesidades organizativas y estratégicas. Para su implementación debe contar con equipos multidisciplinarios y el apoyo institucional es fundamental. No se trata solamente de innovar en los procesos de una asignatura, sino de un proceso de mejora transversal donde se generen desarrollo de prototipos, pruebas, pilotos y planes de implementación (García-Peñalvo, 2016).

2.2.2.3 Innovación disruptiva. En el contexto de la tecnología y la innovación, la disrupción se define como un evento que rompe lo tecnológico anterior, generando nuevas cadenas de producción, materiales, fuentes de energía, medios de transmisión y funcionalidades. Es una característica esencial del proceso de globalización actual y modifica las condiciones productivas conocidas. Tiene efectos a corto y mediano plazo y constituye el ingreso a la cuarta revolución industrial (Navas, 2019).

Para el Banco Interamericano de Desarrollo BID, una innovación disruptiva es una nueva solución que ofrece respuesta a quienes no tenían opciones disponibles antes de su aparición, y para operar efectivamente, es necesario el cumplimiento de tres condiciones: tener una calidad inicial suficiente, contar con un precio accesible y tener un potencial de mejora continua (BID, 2010).

Otro concepto acerca de la innovación disruptiva lo da Christensen, Baumann & Ruggles (2006), quienes afirman que las innovaciones disruptivas en el sector social pueden incluso carecer de ciertas funciones o capacidades de productos ya establecidos, pero son normalmente más simples, más convenientes y más baratas, por lo que atraen a una gran cantidad de personas.

Los cambios sociales causados por innovaciones disruptivas son, en su mayoría, no intencionales, ya que son el subproducto de perseguir una oportunidad de negocios, y son generados mediante el escalamiento y la replicación.

3. Metodología

3.1 Metodología revisión sistemática

La metodología de investigación se entiende como el conjunto de técnicas y procedimientos aplicados de forma ordenada y sistemática en la elaboración de un estudio (Riquelme, 2018). Según Tranfield, Denyer y Smart (2003), para que el proceso de una revisión sistemática sea replicable, científico y transparente, se requiere de una secuencia de localizar, ordenar, contar y evaluar la bibliografía de unas fuentes definidas con anticipación.

Para el presente trabajo de grado, se adaptará la metodología de Tranfield, Denyer y Smart (2009), dividiéndola en tres etapas: planificación, selección y análisis, y documentación. Se presenta la información en la tabla 1.

Tabla 2.

Metodología del proyecto.

Metodología Denyer & Tranfield	Metodología adaptada al trabajo
Formulación preguntas de investigación	Planificación <ul style="list-style-type: none"> Definición de la pregunta de investigación. Creación del protocolo de revisión.
Localización de la literatura	Selección y análisis <ul style="list-style-type: none"> Identificación de bases de datos y fuentes confiables.

Selección y evaluación de artículos	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de la ecuación de búsqueda. • Identificación y selección de los artículos.
Análisis y síntesis del contenido	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de calidad de los artículos. • Análisis y síntesis de datos.
Presentación de los resultados	<p style="text-align: center;">Documentación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un artículo de carácter publicable que sintetice los resultados de la investigación.

Nota: Tomado de Tranfield, Denyer y Smart (2009).

3.2 Metodología análisis web

Además de la revisión sistemática basada en la búsqueda de artículos académicos en las bases de datos Scopus y Web Of Science, se usará un recurso adicional para apoyar la investigación y encontrar información actualizada a través de la web. Se plantea un análisis web utilizando Twitter, que es una red social de mensajería social gratuita que permite a las personas mantenerse conectadas a través de mensajes cortos, donde se publican pensamientos, observaciones e ideas (Armetrics, 2021). El uso de las redes sociales ha crecido exponencialmente en los últimos años, y se ha convertido en el principal faro de opiniones e ideas por parte de las personas. Se buscará información que redirija a páginas web, artículos académicos y otras fuentes de información confiable que complemente la revisión de literatura y poder hacer una revisión sistemática más completa.

La metodología utilizada consta de tres pasos:

1. Definir las palabras clave para realizar las búsquedas.
2. Hacer un filtro de resultados a través de unos criterios de elegibilidad.
3. Lectura y análisis de los resultados.

3.2.1 Definición de palabras clave

La búsqueda se realizará a través de hashtags, que es una palabra o frase precedida por el símbolo “#”, sirve para contextualizar un tweet y permitir que los usuarios puedan seguir fácilmente los temas que les interesa (Twitter, 2021). Se utilizó la opción de búsqueda avanzada de Twitter, buscando resultados que incluyeran los hashtags: #Ingeniería, #Engineering, #IngenieríaIndustrial, #IndustrialEngineering, #Education, #Innovation. Estas palabras clave se definieron de acuerdo a la ecuación de búsqueda construida para la revisión de literatura, y teniendo en cuenta el mapa de palabras clave que se observó en el análisis bibliométrico.

3.2.2 Selección de tweets

Se definieron unos criterios de elegibilidad para hacer un filtro de calidad de la información encontrada en el análisis web. El rango de tiempo debe estar entre el año 2016 y 2021, deben ser tweets en idioma inglés o español y se hizo una lectura superficial para revisar si el contenido sigue el tópico de investigación.

3.2.3 Lectura y análisis de resultados

Luego de seleccionados los tweets, se procederá a realizar la lectura y análisis de los mismos a través de la herramienta Nvivo. Esta herramienta permite hacer codificaciones inductivas o deductivas y clasificar la información para hacer un trabajo de investigación más completo. Estos resultados se mostrarán en el apartado 7: Resultados de la investigación.

4. Planificación

La planificación es la primera fase en una revisión sistemática, y es donde se define el objeto que se quiere estudiar, los conceptos fundamentales y la forma en que se va a abordar

(Caraballo, 2015). En esta etapa se formula la pregunta de investigación, en donde deben tenerse claros los objetivos de la investigación y el contexto del problema a resolver (Masso, 2021). Además, se crea un protocolo de revisión, necesario para definir los objetivos de elegibilidad y los criterios de inclusión y exclusión que tendrán los artículos de la revisión sistemática.

4.1 Definición de la pregunta de investigación

La pregunta de investigación define el objetivo de la revisión sistemática, y su planteamiento es el resultado de la idea inicial de investigación, la profundización en la teoría del tópico de interés y la revisión de estudios previos (Ramos, 2017).

Para el presente proyecto, se definió que el enfoque de la revisión sistemática de literatura y análisis web, se orientaría a la identificación y caracterización de las principales tendencias de innovación en la ingeniería industrial, ya que se espera hacer un aporte significativo en el plan estratégico de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander. El motivo por el que se decidió estudiar las tendencias de innovación, en vez de las tendencias generales de la ingeniería industrial, es debido a que se entiende la innovación como un factor fundamental en la transformación de organizaciones exponenciales. Palao (2017), define la innovación como un agente de cambio y transformación que acelera el crecimiento de las compañías. Con este enfoque, se definió la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las tendencias de innovación en la ingeniería industrial?

4.2 Protocolo de revisión

En esta etapa se definieron las normas que tendrá la investigación al definir las fuentes de información, las palabras clave, las combinaciones de éstas y la estrategia de búsqueda (Caro, 2008). Se realizó una búsqueda preliminar del tópico “tendencias de innovación en la ingeniería industrial” en Google académico (*Google Scholar*), el cual es un buscador de Google

especializado en literatura científica y académica que permite encontrar de forma sencilla documentos académicos y resúmenes de los mismos, con una gran base de datos disponible en internet de forma libre. También se indagaron bases de datos de Oxford Academic y la Universidad de Stanford. Además, se consultaron sitios web de importantes universidades con una visión clara hacia la innovación, como la Singularity University, que en su actividad afirma preparar líderes y organizaciones globales para el futuro con programas y eventos transformadores (Singularity University, 2020). A partir de esta búsqueda inicial, se identificaron las palabras clave “Innovation”; “Innovation trends”; “Industrial engineering”; “Engineering Education”.

Se definió que el enfoque de la investigación debería ir direccionado hacia el plan estratégico de innovación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, y por ello, las tendencias de innovación que se buscan identificar y caracterizar se dividen en dos vertientes. Por un lado, las tendencias de innovación en la educación de la ingeniería industrial, y por otro, las tendencias en los distintos campos de la profesión de la ingeniería industrial. Ambas vertientes se consideraron imprescindibles para esta investigación, debido a que la EEIE debe estar actualizada en las innovaciones que generan disrupción en la educación, y preparar a los futuros profesionales para los distintos escenarios que afrontarán en la vida laboral.

Los criterios de inclusión y exclusión seleccionados para la revisión sistemática se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.*Criterios de inclusión y exclusión.*

Criterio	Inclusión	Exclusión
Bases de datos	Scopus Web Of Science	
Periodo de tiempo	Documentos publicados entre el año 2015 y 2020	Documentos publicados antes del 2015
Idioma	Inglés y español	Otros idiomas
Tipo de documento	Artículos académicos, libros, revisiones bibliográficas, casos de estudio.	Cartas, correcciones, noticias, memorias, entre otros.
Área de estudio	Innovación, educación en ingeniería industrial, áreas de la ingeniería industrial.	Otras áreas y temáticas diferentes al eje de investigación.

Se limitó la búsqueda de los documentos a los últimos seis años, debido a que se espera obtener documentación actualizada. Se excluyen los documentos en idiomas distintos al inglés y español para no presentar ambigüedades en la traducción y afectar la calidad de la revisión de literatura. Así mismo, se excluyen categorías y áreas distintas al eje de investigación para obtener una revisión lo más exacta posible, y se excluyen los tipos de documentos como cartas, noticias, memorias, entre otros, en razón de que se espera que la investigación arroje un aporte teórico lo más relevante, serio y confiable posible.

Después de aplicados estos criterios, e identificados los artículos resultantes, se aplica una evaluación de calidad de los documentos, a través de una lectura completa del resumen, para validar si su contenido es realmente significativo para el propósito de investigación. Se definieron los siguientes criterios de calidad para los artículos finales de la revisión sistemática:

- Que la investigación proporcione un aporte teórico relevante para la identificación de tendencias de innovación en la ingeniería industrial.
- Que la investigación tenga a la innovación como base principal de desarrollo.
- Que la investigación se ejecute en el campo de la ingeniería industrial o afines.

5. Selección y análisis

Uno de los aspectos más importantes en una revisión sistemática es la identificación y selección de estudios, con el fin de encontrar aquellos elegibles para la revisión. Buscar y seleccionar de forma adecuada una amplia gama de documentos para una investigación, es fundamental para una revisión sistemática de alta calidad (Polanin, et al., 2019).

En esta etapa, se realiza la selección de artículos para la investigación, a través de la identificación de bases de datos confiables, la creación de la ecuación de búsqueda mediante las palabras clave definidas preliminarmente, la aplicación de los criterios de elegibilidad y la evaluación de calidad de los artículos resultantes, para posteriormente hacer el análisis y síntesis de datos.

5.1 Identificación de bases de datos

Se utilizaron dos reconocidas herramientas para llevar a cabo la investigación: Scopus, la cual es una base de datos con contenido web, citas y referencias bibliográficas de calidad, que posee herramientas para realizar visualización, seguimiento y análisis de investigación (FECYT, 2016). Y Web Of Science, que es una “base de datos líder en la citación con cobertura multidisciplinar con información de revistas de alto impacto en todas las áreas del conocimiento” (UIS, 2020).

5.2 Creación de la ecuación de búsqueda

A partir de las palabras clave encontradas en la búsqueda preliminar, se construyó la ecuación de búsqueda aplicando los criterios de inclusión y exclusión expuestos en la fase de planificación. En la base de datos *SCOPUS*, se utilizó el código de campo “TITLE-ABS-KEY”, el cual limita la búsqueda a documentos donde los términos adoptados se encuentren en el título, resumen o palabras clave. También se utilizaron los operadores booleanos *AND*, para que la búsqueda incluya todos los términos asociados, y *OR*, para que los resultados deban incluir al menos uno de los términos buscados (Scopus, 2021).

Se utilizaron dos terminologías para la ecuación de búsqueda, “*industrial AND engineering*” la cual hace referencia a la ingeniería industrial como profesión, y “*education AND industrial AND engineering*” para buscar documentos referentes a la educación en la ingeniería industrial. Ambas están separadas por el operador *OR* para encontrar documentos que pertenezcan a alguno de los dos campos.

Se generó entonces la siguiente ecuación de búsqueda preliminar, mostrada en la tabla 4:

Tabla 4.

Ecuación de búsqueda preliminar Scopus.

Ecuación	Resultados
TITLE-ABS-KEY (([innovation] OR [innovation AND trends]) AND ([industrial AND engineering] OR [education AND industrial AND engineering])) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) AND	200 documentos

```
( EXCLUDE ( LANGUAGE , "Chinese" ) OR EXCLUDE (
LANGUAGE , "Russian" ) OR EXCLUDE (
LANGUAGE , "Japanese" ) OR EXCLUDE (
LANGUAGE , "Persian" ) )
```

Nota: Tomado de Scopus (2021).

Se excluyeron las categorías y palabras clave que no tenían mayor relación con el tópico o que pertenecían a áreas muy diferentes de la ingeniería industrial, según los criterios de inclusión y exclusión definidos anteriormente. La ecuación de búsqueda final quedó de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5.

Ecuación de búsqueda final Scopus.

Ecuación	Resultados
<pre>TITLE-ABS-KEY (([innovation] OR [innovation AND trends]) AND ([industrial AND engineering] OR [education AND industrial AND engineering])) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT- TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT TO (PUBYEAR , 2015)) AND (EXCLUDE (LANGUAGE , "Chinese") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Russian") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Japanese") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Persian")) AND (EXCLUDE (SUBJ AREA , "COMP") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "EART") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CHEM")</pre>	93 documentos

```

OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "IMMU" )
OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "PHAR" ) ) AND ( EXCLUDE
( EXACTKEYWORD , "China" ) OR EXCLUDE ( EXACTKEYWO
RD , "Condensed Matter Physics" )
OR EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Additives" ) OR EXCLUDE
( EXACTKEYWORD , "Carbon Dioxide" )
OR EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Wastewater
Treatment" ) OR EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Water
Pollution" )
OR EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Biogas" ) OR EXCLUDE (
EXACTKEYWORD , "Carbon Emission" )
OR EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Chemical Analysis" ) OR
EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Chemical Industry" ) OR
EXCLUDE ( EXACTKEYWORD , "Gas Emissions" ) )

```

Nota: Tomado de Scopus (2021).

Para la base de datos *Web Of Science*, se utilizó la etiqueta de campo *TS* (tema), la cual realiza una búsqueda en los campos de título, abstracts y palabras clave. Además, se utilizaron los operadores booleanos *AND* para buscar registros que incluyan todos los términos separados por el operador, y *OR* para buscar registros que incluya cualquiera de los términos separados por el operador (Clarivate Analytics, 2021).

Se generó la ecuación de búsqueda preliminar con 478 resultados, mostrados en la tabla 6:

Tabla 6.

Ecuación de búsqueda preliminar Web Of Science.

Ecuación	Resultados
$(TS= ((innovation \ OR \ innovation \ trends) \ AND \ ((industrial \ AND \ engineering) \ OR \ (education \ AND \ industrial$	179 documentos

AND engineering)))) AND IDIOMA: (English OR Spanish) AND TIPOS DE DOCUMENTOS: (Article OR Book OR Data Paper)
Período de tiempo: 2015-2021.

Nota: Tomado de Web Of Science

Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, descartando categorías que no tenían mayor relación con la innovación en la ingeniería industrial. Además, se buscaron documentos que fueran de acceso abierto para facilitar la lectura y análisis. Se construyó la ecuación final con 72 resultados que se muestran en la tabla 7:

Tabla 7.

Ecuación de búsqueda final Web Of Science.

Ecuación	Resultados
<p><i>(TS=((innovation OR innovation trends) AND ((industrial AND engineering) OR (education AND industrial AND engineering)))) AND IDIOMA: (English OR Spanish) AND TIPOS DE DOCUMENTOS: (Article OR Book OR Data Paper)</i> <i>Refinado por: Acceso Abierto: (OPEN ACCESS) AND CATEGORÍAS DE WEB OF SCIENCE: (ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY OR EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH OR MANAGEMENT OR ENGINEERING MANUFACTURING OR ECONOMICS OR ENGINEERING INDUSTRIAL OR EDUCATION SCIENTIFIC DISCIPLINES OR OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE OR BUSINESS)</i> <i>Período de tiempo: 2015-2021. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI.</i></p>	<p>72 documentos</p>

Nota: Tomado de Web Of Science (2021).

5.3 Identificación y selección de los artículos

Después de construidas las ecuaciones de búsqueda en ambas bases de datos, se procedió a hacer un filtro de identificación de los artículos, a través de una revisión superficial mediante la lectura de los títulos y palabras clave, seleccionando aquellos documentos que tengan relación con el objetivo de la investigación.

Se preseleccionaron los documentos relacionados en la tabla 8:

Tabla 8.

Documentos preseleccionados para la revisión sistemática.

Bases de datos	Documentos preseleccionados
Scopus	60 documentos
Web Of Science	44 documentos

5.4 Evaluación de calidad de los artículos

Los documentos preseleccionados mediante la revisión del título y palabras clave, fueron sometidos a una valoración final a través de la lectura completa del resumen, con el objetivo de observar si cumplían con los criterios de elegibilidad y si realmente el contenido del documento era valioso para el trabajo de investigación, para poder realizar finalmente la extracción, análisis y síntesis de los resultados obtenidos. Los documentos finalmente seleccionados se muestran en la tabla 9:

Tabla 9.

Documentos seleccionados para la revisión sistemática.

Bases de datos	Documentos seleccionados
-----------------------	---------------------------------

Scopus	52 documentos
Web Of Science	36 documentos

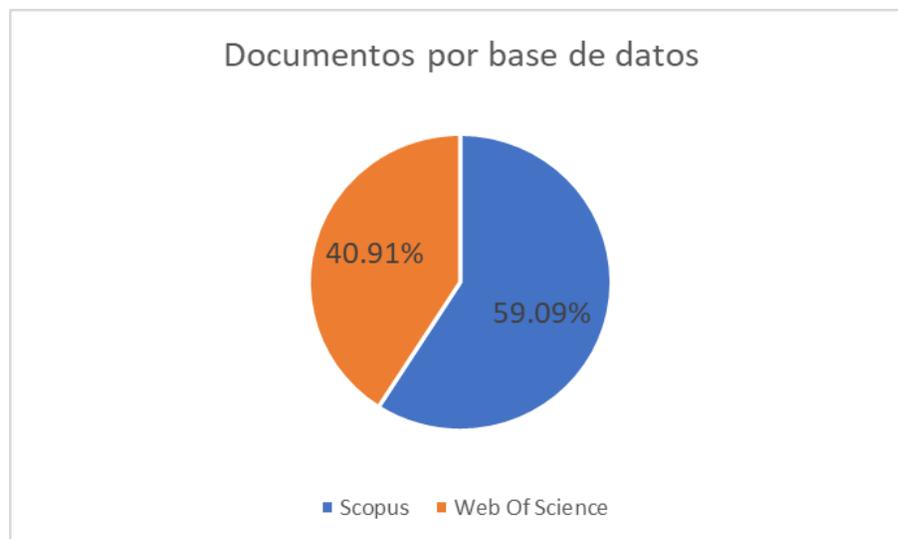
5.5 Análisis y síntesis de datos

5.5.1 Análisis bibliométrico

Con el propósito de contextualizar la temática definida, se hizo una exploración de los datos de los documentos encontrados, como la distribución geográfica, idioma de publicación, año de publicación, tipo de documento y área de conocimiento. Para ello se utilizó el análisis de datos que proveen las bases de datos Scopus y Web Of Science, así como también el uso del software VOSVIEWER, Microsoft Office y Tableau para la construcción de los gráficos.

Figura 3.

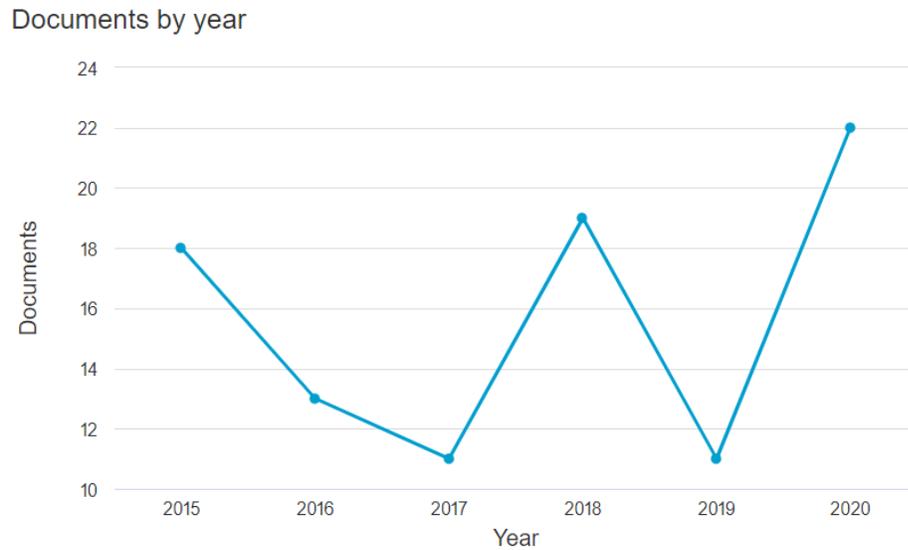
Documentos por base de datos.



En la figura 3 se evidencia que la mayoría de artículos fueron obtenidos de la base de datos Scopus, de la cual se obtuvo el 59% del total de documentos, debido a que posee una mayor cobertura respecto a Web Of Science, que es más rigurosa, la cual aportó el 41%.

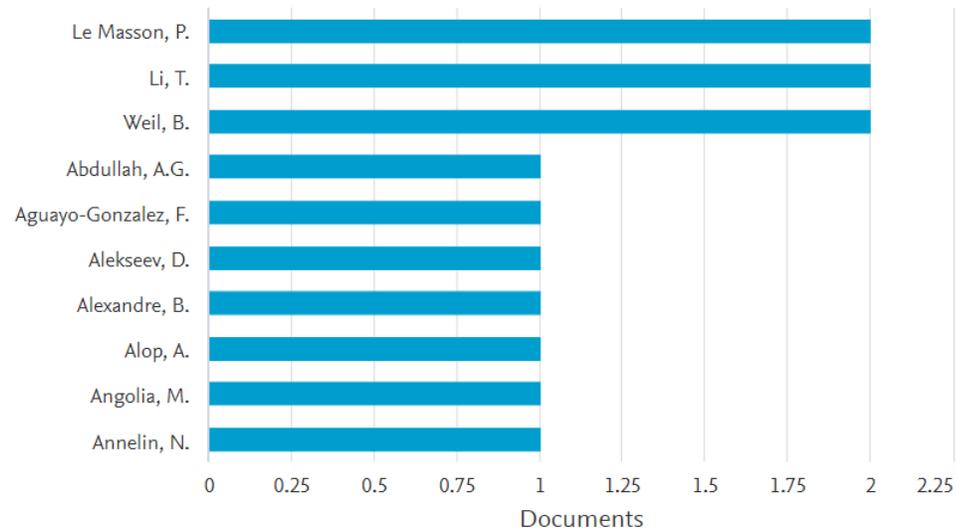
Figura 4.

Número de documentos por año.



Nota: Tomado de Scopus.

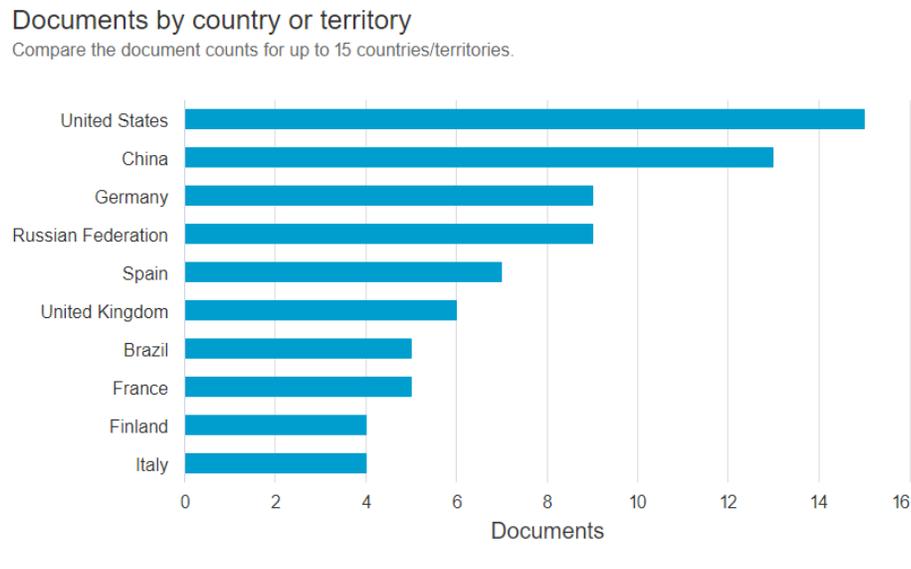
Como se observa en la figura 4, el número de documentos publicados en los últimos seis años ha sido bastante intermitente, en el rango de 11 a 22 publicaciones al año. siendo los años 2015, 2018 y 2020 en los que más se han realizado publicaciones del tópico.

Figura 5.*Documentos por autor.**Nota:* Tomado de Scopus.

En la figura 5 se evidencia el número de documentos por autor, donde sobresalen los autores Le Masson, Li y Weil con dos documentos publicados cada uno, estando por encima de los demás autores, que tienen una publicación.

Figura 6.

Número de documentos publicados por país.

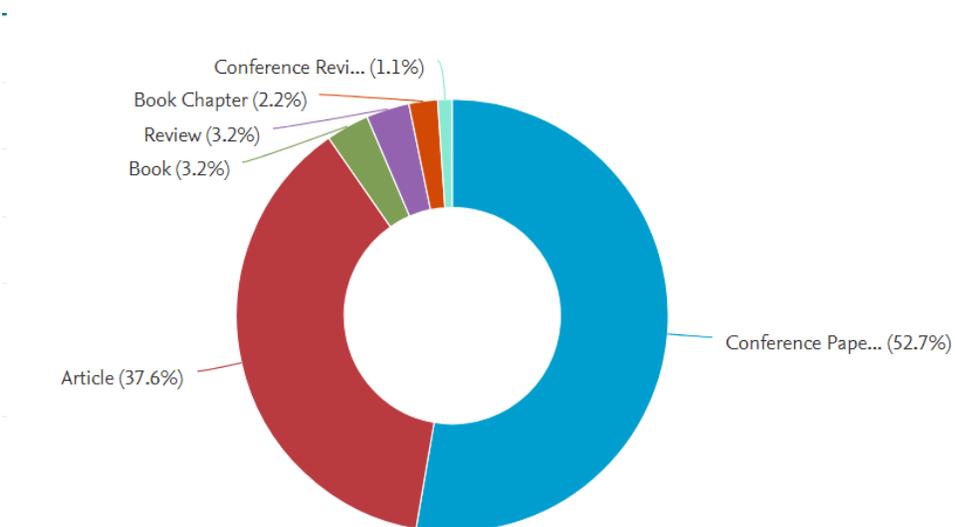


Nota: Tomado de Scopus.

En la figura 4, aparecen los 10 países más representativos en cuanto al número de documentos publicados de la temática de investigación. Lo encabeza Estados Unidos con 15 publicaciones, seguido de China con 13 publicaciones y Alemania y Rusia con 10. En el quinto lugar está España con 8 publicaciones. El Reino Unido tiene 6 publicaciones y aparece Brasil como el único representante de Sudamérica con 5 artículos publicados al igual que Francia. Finlandia e Italia cierran la lista con 4 publicaciones cada uno.

Figura 7.

Tipos de documentos publicados.

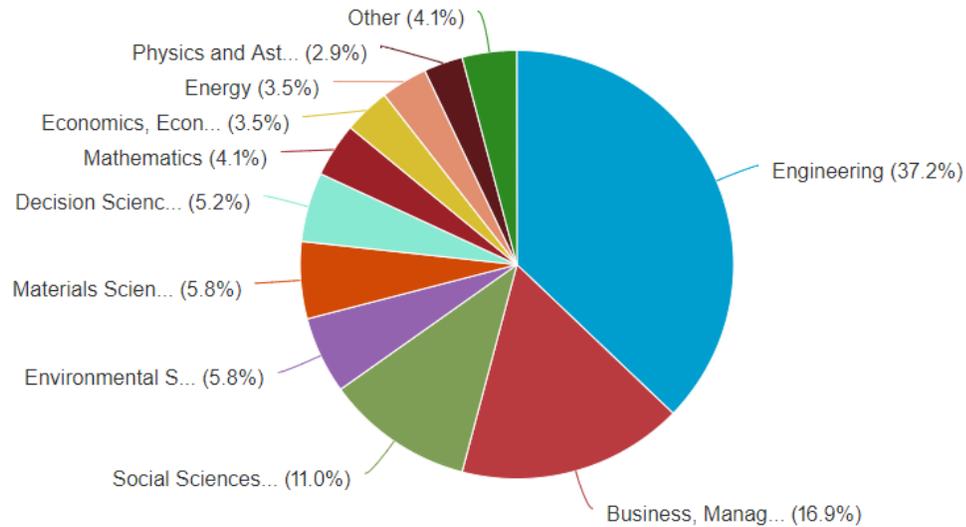


Nota: Tomado de Scopus.

Analizando el tipo de documentos relacionados con el tópico de investigación, en la figura 7 se evidencia que el 52,7% de las publicaciones son documentos de ponencias, seguido por los artículos que representan un 37,6% del total de publicaciones.

Figura 8.

Publicaciones por área de investigación.



Nota: Tomado de Scopus.

En la figura 8 se observan las publicaciones por área de investigación, donde la más representativa es la ingeniería con un 37,2% seguida de negocios, administración y contabilidad con un 16,9% de participación. Las ciencias sociales cuentan con un 11%, seguida de ciencias ambientales (5.8%), ciencia de la decisión (5,2%) y áreas como matemática, física y ciencias (4,1%). Otras áreas destacadas son economía y energía, con un 3,5% de participación cada una.

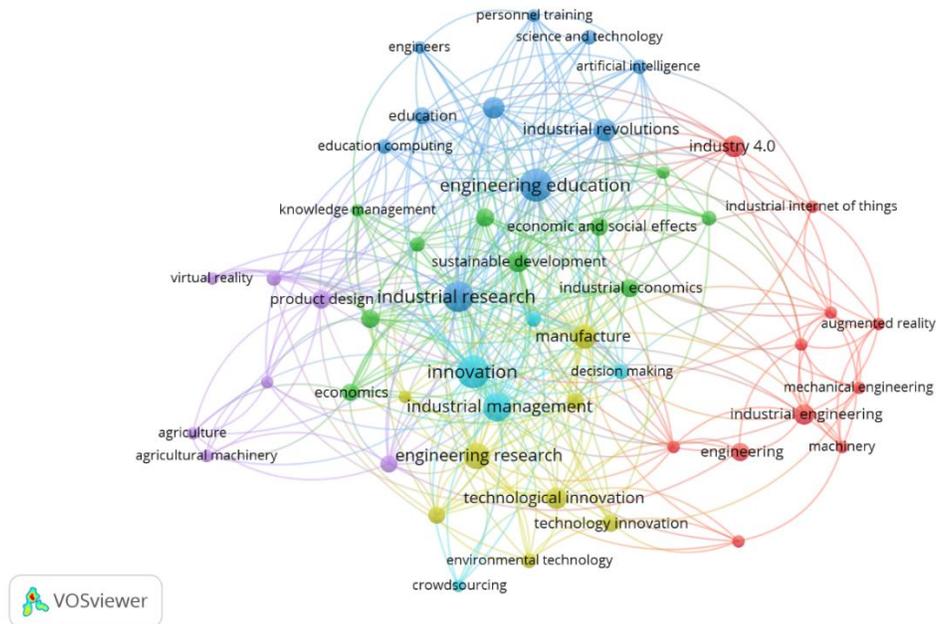
Por otra parte, se utilizó la herramienta Vosviewer para hacer un análisis de relaciones y coocurrencias de palabras clave. Vosviewer es una herramienta que permite construir y visualizar redes bibliométricas y de coocurrencia de términos importantes incluidas en literatura científica. (Vosviewer, 2020).

Figura 9.

Palabras clave con número de ocurrencias y fuerza total de enlace.

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	engineering education	19	68
<input checked="" type="checkbox"/>	innovation	18	64
<input checked="" type="checkbox"/>	industrial research	16	57
<input checked="" type="checkbox"/>	industrial management	14	50
<input checked="" type="checkbox"/>	engineering research	12	49
<input checked="" type="checkbox"/>	manufacture	10	42
<input checked="" type="checkbox"/>	industrial revolutions	9	36
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainable development	7	35
<input checked="" type="checkbox"/>	students	8	30
<input checked="" type="checkbox"/>	economic and social effects	6	25
<input checked="" type="checkbox"/>	surveys	6	25
<input checked="" type="checkbox"/>	industry 4.0	8	24
<input checked="" type="checkbox"/>	information management	6	23
<input checked="" type="checkbox"/>	technological innovation	8	23
<input checked="" type="checkbox"/>	economics	5	22
<input checked="" type="checkbox"/>	education	5	22
<input checked="" type="checkbox"/>	product design	6	22
<input checked="" type="checkbox"/>	technological development	4	22
<input checked="" type="checkbox"/>	technology	5	21
<input checked="" type="checkbox"/>	commerce	5	19

En este análisis, se tiene en cuenta la cantidad de ocurrencias de las palabras clave y la fuerza total de enlace, que indica el número de publicaciones en las que la palabra clave se relaciona con otras, como se muestra en la figura 9.

Figura 10.*Mapa de coocurrencia de palabras clave.*

En la figura 7, se muestran las *keywords* que más ocurrencia tienen y las que más relaciones tienen con otras. Las principales palabras clave halladas fueron: "engineering education", "innovation", "industrial research", "industrial management" y "engineering research". Se puede tener una mejor visión en la figura 8, que muestra el mapa de densidad de coocurrencia.

clasificación y jerarquización de los códigos obtenidos. Primero, se organizaron los códigos que tenían algún tipo de relación en bloques, y luego se aplicó una jerarquía a cada bloque, generando así códigos mayores y subcódigos. A partir de allí, se empezó a generar una estructura de información, analizando las conexiones entre los datos obtenidos, para finalmente obtener los resultados de la revisión de literatura separados en dos grandes grupos: Tendencias de innovación en la educación de la ingeniería, y tendencias de innovación en la industria.

6. Documentación

Finalmente, con toda la información clasificada, estructurada, analizada y caracterizada, se elabora un artículo académico de carácter publicable que sintetiza los resultados y conclusiones obtenidos de la revisión de literatura y análisis web, teniendo en cuenta el formato y las indicaciones de la revista identificada para la potencial publicación del artículo (Ver apéndice A). Los resultados de la investigación se detallan en el apartado 7 de este documento.

7. Resultados de la investigación

Después de realizar el análisis y síntesis de datos de la revisión de literatura y el análisis web a través de la herramienta Nvivo, se obtuvo una estructura separada por dos vertientes: Tendencias en la industria y en la educación de la ingeniería. La primera describe los principales campos de acción de desarrollo actual y de un futuro próximo de la ingeniería industrial y la segunda, las tendencias de innovación que se están gestando en las mejores universidades del mundo para preparar a los futuros profesionales. Ambas vertientes tienen un campo en común: La digitalización y la industria 4.0 como base principal. Como los resultados obtenidos en el

análisis web tenía muchas coincidencias, o complementaban las tendencias encontradas en la revisión de literatura, se decidió sintetizar los resultados de ambas para hacer una caracterización de las tendencias de innovación en la ingeniería industrial según los resultados de los dos análisis.

7.1. Tendencias de innovación en la industria

La industria 4.0 ha transformado los procesos de producción e industriales haciéndolos más eficientes y flexibles, a través de la integración de la tecnología de la información y comunicaciones con los avances industriales para desarrollar fábricas inteligentes (Hernández, Escobar & Menéndez, 2019). Las fábricas inteligentes son el nuevo paradigma en la industria de la fabricación y manufactura, y debido a la creciente complejidad en los sistemas manufactureros modernos, ha surgido la necesidad de aprovechar de forma más eficiente las grandes cantidades de datos y utilizar la informática y los sistemas digitales para mejorar el proceso de toma de decisiones. El principal reto de las industrias actualmente es procesar la información y convertirla en conocimiento, para que una computadora pueda, de forma automática, tomar la decisión correcta en el lugar y momento oportunos (Chen, 2017). Por este motivo, están surgiendo nuevas tecnologías, que se consideran clave en el desarrollo del concepto de fábrica inteligente. Se caracterizaron seis tecnologías clave y las dos principales mega tendencias de innovación en la ingeniería industrial: Los sistemas ciberfísicos y el aprendizaje automático.

7.1.1 Tecnologías clave

Dentro de las principales tendencias de innovación en la ingeniería industrial, se identificaron seis tecnologías clave que sirven como base para la implementación del concepto de fábrica inteligente. Chen (2017), define la fábrica inteligente como el concepto líder en la

industria 4.0, en donde existen dos niveles de tecnología: el primero, centrado en la integración de los dispositivos de producción mediante sistemas de comunicación, donde los datos y la información se recopilan en tiempo real, y el segundo, un modelo de fábrica completamente digitalizado para un sistema de producción a través de una plataforma inteligente de software. Estas tecnologías clave son transversales para las diferentes tendencias identificadas en este trabajo y se resumen en la tabla 10.

Tabla 10.

Tecnologías clave en la ingeniería industrial.

Tecnología	Definición
Computación en la nube	Es una tecnología informática que proporciona un servicio de computación basado en internet, que permite compartir software para que un usuario no tenga que realizar una instalación localmente. La computación en la nube proporciona una solución eficaz a la necesidad de muchas empresas de requerir múltiples recursos informáticos, como servidores para bases de datos y unidades de toma de decisiones. Es una tecnología que ofrece alto rendimiento a bajo costo (Zheng et al., 2014).
Big data	Es el proceso que permite analizar grandes cantidades de información generada por sensores inteligentes, dispositivos, fuentes de audio y video, entre otros. La principal característica del Big Data es lo que algunos investigadores llaman el “5V”: volumen, variedad, velocidad, veracidad y valor. Esta tecnología puede ayudar a las empresas a mejorar el rendimiento en los sistemas, disminuir el tiempo de incapacidad y predecir las necesidades de máquinas y sistemas (Hernández & Escobar, 2019).
Fabricación aditiva	La fabricación aditiva o Additive Manufacturing (AM), agrupa un conjunto de tecnologías de similares características que hacen parte

de la cuarta revolución industrial. Es un proceso para unir materiales capa por capa para fabricar objetos a partir de datos de modelos 3D, en contraste con los métodos de fabricación convencionales basados en la eliminación de material y conformación de objetos (Puerto & Gómez, 2018). La fabricación aditiva se está desarrollando actualmente a nivel mundial, y transformará los procesos de fabricación tal y como los conocemos, llevando a cambios en logística, modelos de negocio, sostenibilidad, comportamiento de los usuarios, economía, etc.

Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR) genera una superposición de objetos virtuales sobre imágenes reales, capturados a través de un dispositivo móvil. En la industria manufacturera, esta tecnología puede usarse para encontrar un problema en específico mediante réplicas de dispositivos reales, lo que ayuda a los técnicos a dar soporte desde cualquier lugar. La AR aumenta la productividad y eficiencia, mejora el diseño y desarrollo de productos, y reduce errores y costos (Hernández et. al., 2020).

M2M

La tecnología Machine To Machine (M2M) describe la automatización del intercambio de información entre máquinas sin necesidad de intervención humana. La Universidad Internacional de Valencia la define como: “Tecnología que permite a las máquinas comunicarse, recopilar, almacenar e intercambiar datos; tomar decisiones de manera autónoma y realizar tareas con muy poca intervención humana” (DVIU, 2021). M2M describe un dispositivo que detecta un evento y logra transmitirlo a una aplicación a través de una red, para lograr una optimización en los procesos de actuación, estando estrechamente relacionado con la inteligencia artificial y el internet de las cosas IOT (IONOS, 2021).

Robótica

El progreso científico ha impulsado en los últimos años la automatización de artefactos que pueden realizar actividades

emulando la acción humana. La robótica ha ganado impulso recientemente en contextos como la atención médica, búsqueda y rescate, fabricación, agricultura, vigilancia ambiental, entre otros. Esta tecnología interactúa de forma cooperativa con el internet de las cosas IOT generando una evolución hacia un ecosistema digital, gracias a los avances en capacidades de detección, computación y comunicación que permite a los robots ejecutar operaciones complejas y coordinadas. La robótica promete aumentar de forma drástica la productividad, y permite realizar iniciativas de eficiencia como la gestión de recursos y la producción justo a tiempo (Scilimati et. al., 2017).

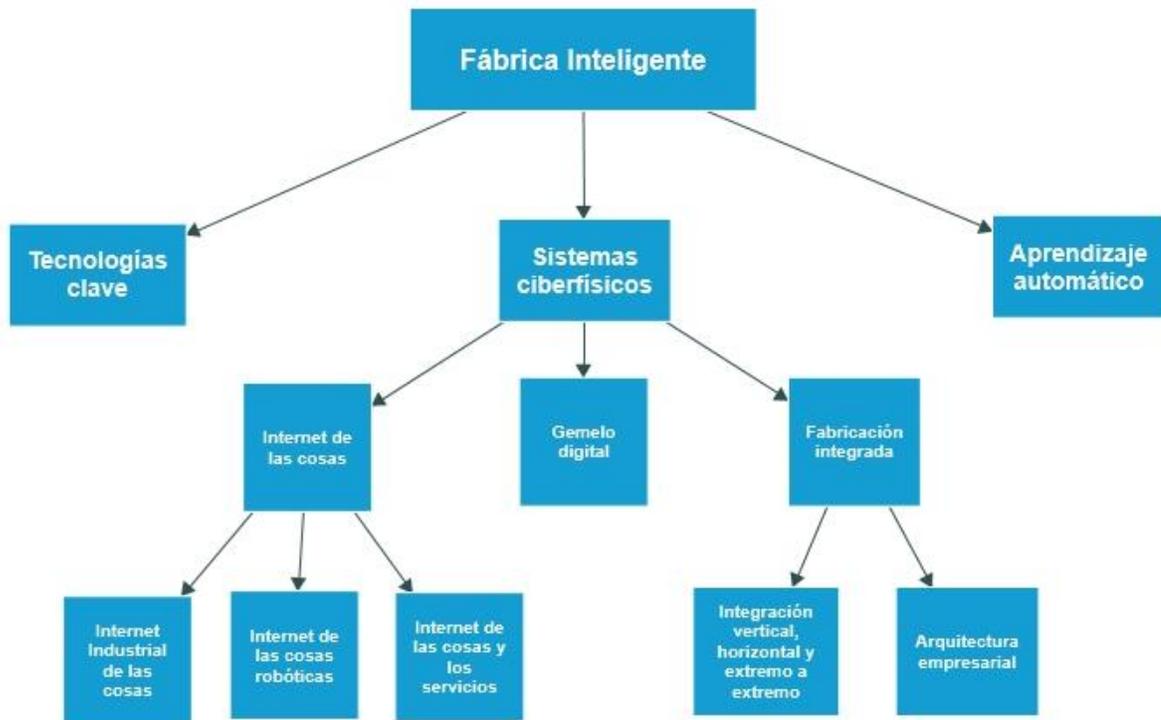
7.1.2 Sistemas ciberfísicos

Los CPS (cyber physics systems) o sistemas ciberfísicos, son los sistemas de entidades computacionales colaboradoras que están en conexión con el mundo físico y sus procesos en curso. Estos sistemas proporcionan y utilizan servicios de acceso y procesamiento de datos disponibles de internet, y los componentes físicos y de software están profundamente entrelazados, interactuando y operando entre sí en distintas escalas temporales y espaciales (Xu et. al., 2018). Los sistemas ciberfísicos son la base fundamental de la industria 4.0 (Varghese y Tandur, 2014), y presentan un mayor nivel de integración y coordinación entre elementos físicos y computacionales (Gurdur et. al., 2016). Los sistemas ciberfísicos se han ido desarrollando en distintas áreas de la industria como la fabricación, aeroespacial, automotriz, química, energía, salud y transporte (Yin et. al., 2016). Desde el año 2007, la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos (NSF) y otras agencias federales han patrocinado proyectos de investigación sobre esta tecnología, y ha sido identificada como un área clave de investigación. Según la NSF, los avances en CPS permitirán capacidad, adaptabilidad, escalabilidad, resistencia, seguridad,

protección y usabilidad que superarán de forma amplia a los sistemas integrados simples de la actualidad (NSF, 2021).

Varios autores consideran los CPS como una tecnología habilitadora de la industria 4.0, que funciona como enlace entre el mundo físico y virtual (Saldívar et. al., 2015). En esta nueva era de digitalización, la tendencia de los sistemas de fabricación será la evolución hacia sistemas colaborativos que involucren a agentes físicos, agentes de software y agentes humanos, cuyo objetivo será la fusión de procesos técnicos y comerciales, dando como resultado la fábrica inteligente, marcando así el camino hacia una nueva era industrial (GTAI, 2021). La esencia de la industria 4.0 es aplicar sistemas ciberfísicos para crear fábricas inteligentes, desempeñando un papel importante en los procesos de producción y fabricación, proporcionando ventajas en tiempo real en términos de recursos y costos, en comparación con los sistemas de producción clásicos. En la industria 4.0, los dos componentes principales son la fábrica inteligente y la producción inteligente (Xu et. al., 2018), y los sistemas ciberfísicos se han destacado como una de las bases fundamentales de estos componentes, convirtiendo a estos sistemas en una de las principales tendencias en la ingeniería industrial.

Para el presente documento, se dividió al concepto de fábrica inteligente en dos mega tendencias: Los sistemas ciberfísicos y el aprendizaje automático, ambos teniendo como base las seis tecnologías clave descritas anteriormente, y se clasificaron y caracterizaron las principales tendencias de innovación de cada una. Para el caso de los CPS, se observaron tres tendencias principales: el internet de las cosas (IOT), los gemelos digitales y la fabricación integrada. Cada una de estas tendencias principales, tienen a su vez, otras tendencias, que se describen en el apartado correspondiente. En la figura 12 se puede observar la clasificación de tendencias para los sistemas ciberfísicos.

Figura 12.*Tendencias de los sistemas ciberfísicos.*

7.1.2.1 Internet de las cosas. Kranenburg define el internet de las cosas (Internet Of Things IOT) como una infraestructura de red global dinámica donde los objetos físicos y virtuales tienen atributos físicos, identidades y personalidades virtuales, utilizando interfaces inteligentes e integrándose a la red de información (Kranenburg, 2008). La base de esta tecnología se puede considerar como una red compuesta por varios dispositivos conectados a través de tecnologías sensoriales, de comunicación, de redes y de procesamiento de la información (Xu et. al., 2018). Akbar afirma que el internet de las cosas es uno de los conceptos centrales de la transición hacia una economía basada en la innovación a través de la cuarta

revolución industrial (Akbar et. al., 2020) y desempeña un papel clave en las tendencias actuales de innovación, ya que es útil en diferentes dominios de aplicaciones como la salud, manufactura, transporte, redes inteligentes, militar, agricultura, logística, entre otros. Por ejemplo, Airbus, empresa que diseña, fabrica y entrega aviones comerciales, helicópteros, transportes militares, satélites y vehículos de lanzamiento (Airbus, 2021), utiliza IOT para reducir costos y optimizar sus procesos a través de la información de la caja de herramientas en línea, donde los trabajadores pueden tener acceso a través de sus teléfonos celulares a indicaciones precisas, tareas y procedimientos que deben seguir para desarrollar una tarea en específico en el momento requerido (Hernández et. al., 2020). Otro ejemplo es la integración entre esta tecnología y la robótica, que están generando un potencial disruptivo de oportunidades, ya que los sistemas robóticos asistidos por internet de las cosas están trayendo grandes avances en áreas como el monitoreo ambiental, donde se han empezado a utilizar vehículos aéreos no tripulados que ejecutan misiones de patrullaje dentro de un área específica con una red desplegada de IOT para detectar datos ambientales (Scilimati et. al., 2017). Estas relaciones entre IOT y otras tecnologías, han generado que surjan tendencias dentro de la misma, y en el presente trabajo se identificaron las tres principales ramas del IOT: Internet industrial de las cosas IIOT, internet de las cosas robóticas IoRT y el internet de las cosas y los servicios IoTS.

7.1.2.1.1 Internet industrial de las cosas IIOT. Es la integración de sensores de máquinas, software, computación en la nube y sistemas de almacenamiento en los procesos industriales de las empresas. Tiene gran utilidad para desarrollar análisis avanzados, descubrir conocimientos y mejorar la toma de decisiones operativas, a través de la distribución y utilización de las grandes cantidades de información generadas. El IIoT puede mejorar la eficiencia operativa a través de la automatización, analítica y conectividad, ayudando a los

industriales a monitorear la producción, mejorar la seguridad y control de calidad, facilitar el mantenimiento, administrar de forma óptima los inventarios, rastrear productos y desarrollar soluciones innovadoras (Hernández & Menéndez, 2019). Las aplicaciones del internet industrial de las cosas en la industria 4.0 son muy amplias, aplicando ciencia de datos y modelos analíticos para analizar datos de máquinas, procesos y sistemas en tiempo real, automatizando la fabricación. Actualmente, varias industrias manufactureras han aplicado IIOT para mejorar la producción, distribución, transporte, servicio y mantenimiento en el proceso de fabricación, y con los avances en tecnologías de redes de sensores, comunicación inalámbrica y otras tecnologías emergentes, cada vez más objetos inteligentes están involucrados con el IIOT. (Xu et. al., 2018). Ejemplos de empresas que están utilizando internet industrial de las cosas son ABB, corporación líder en tecnologías digitales para la industria, la cual ha adoptado el concepto de mantenimiento predictivo, utilizando sensores conectados para monitorear sus robots y activar la reparación antes de que se presenten las fallas (ABB, 2021); y AIRBUS, quienes han integrado sensores en herramientas y máquinas y han proporcionado a los trabajadores tecnología vestible diseñada para reducir errores y fortalecer la seguridad en el puesto de trabajo, en un proyecto llamado *Fábrica del futuro*, optimizando las operaciones y fortaleciendo la capacidad de producción (Hernández et. al., 2020). Desafíos como la globalización, el aumento en la volatilidad de los mercados, la competencia intensificada y los ciclos de innovación abreviados, han hecho que varios países introduzcan el IIOT en sus programas de gobierno. Alemania ha iniciado el programa *Industria 4.0* para la introducción del internet industrial de las cosas para responder a estos desafíos y mantener la competitividad futura de la industria alemana (Müller, 2017).

7.1.2.1.2 Internet de las cosas robóticas IoRT. La cooperación entre el internet de las cosas y los sistemas robóticos es un tema de investigación importante en la actualidad. Una de las tendencias es el llamado internet de las cosas robóticas IoRT, donde los sistemas robóticos pueden conectarse, intercambiar información y compartir recursos de computación, información de contexto y datos ambientales entre sí, a través de sofisticados marcos arquitectónicos (Scilimati et. al., 2017). Otro enfoque para la cooperación entre estas dos tecnologías es la llamada robótica asistida por IOT, en donde los dispositivos y robots están diseñados para alcanzar un objetivo en común a través de la colaboración. Los robots industriales y el IOT están trabajando conjuntamente para dar forma al futuro de la cadena de suministro y debido a la creciente demanda de robótica, la incorporación de tecnologías IoRT y realidad mixta han creado un portafolio de soluciones conectadas, móviles y autónomas (Microsoft, 2021). Ejemplos de estas tecnologías son HoloLens, un dispositivo holográfico autónomo con aplicaciones preparadas para la empresa, que aumenta la precisión y producción del usuario, y Azure Spatial Anchors, un servicio en la nube y plataforma que permite experiencias de realidad mixta con reconocimiento espacial y multiusuario (Microsoft, 2021).

7.1.2.1.3 Internet de las cosas y los servicios IoTS. Con el rápido desarrollo de la tecnología, una gran cantidad de objetos físicos pueden conectarse a través de internet mediante aparatos electrónicos, software, sensores y dispositivos de red integrados. Actualmente, estas tecnologías se han expandido, incluyendo sistemas no físicos, como servicios o elementos sociales, a esta parte del IOT, se le conoce como internet de las cosas y los servicios IoTS o Internet de los servicios IOS (Chen, 2017). A diferencia del IOT, el internet de los servicios da un mayor valor a los procesos colectivos, ya que está pensado para integrarse de forma directa y rápida en la vida cotidiana de los usuarios automatizando determinados procedimientos. Las

necesidades de los usuarios han ido cambiando, y ya no quieren servicios que deban instalar o programar con regularidad, sino que se espera que sean los propios dispositivos los que aprendan los hábitos de consumo y comportamiento para adelantarse a las necesidades. El IoTS es una evolución lógica y una solución oportuna para estas necesidades, no solamente por la multiplicación exponencial de dispositivos y funciones conectadas a la red, sino también por la gestión eficiente y la capacidad de los dispositivos para integrarse en la vida cotidiana de las personas (Fractalia, 2021).

7.1.2.2 Gemelo digital. Con el rápido crecimiento de los sistemas ciberfísicos y la fabricación inteligente, el concepto de gemelo digital o Digital Twin (DT) está haciéndose cada vez más notorio. Lennart lo define como una tecnología que comprende el reflejo, réplica o identidad digital de objetos o sistemas físicos, y se puede utilizar para el seguimiento de la seguridad industrial o la optimización y seguimiento de procesos (Lennart, 2020). DT tiene una amplia gama de aplicaciones y mercados, que incluye la industria manufacturera, aeroespacial, energética, automotriz, salud, soldadura, impresión 3D, entre otros. Al utilizar un gemelo digital para reflejar de forma virtual un estado físico, se puede simular, en tiempo real, todo el ciclo de vida de un sistema, lo que permite la optimización del proceso o supervisión del estado (Lennart, 2020). Específicamente en la industria de fabricación, los principales beneficios del uso del gemelo digital incluyen: la realización de experimentos sin riesgos; la mejora en la capacitación de operadores hasta que tengan las habilidades necesarias para la operación de maquinaria real; la previsión de problemas en la realidad, al tener máquinas que ejecutan las simulaciones de forma paralela identificando las diferencias en el rendimiento (Hernández et. al., 2019). Un ejemplo de su aplicación es SIEMENS, empresa de fabricación industrial alemana, expertos en electrificación, automatización y digitalización (SIEMENS, 2021), quienes han desarrollado un

simulador para el mecanizado de piezas, basándose en datos de la maquinaria física. Con el uso de esta tecnología, se ha reducido el tiempo de preparación del proceso de mecanizado real en un 80% (Hernández et. al., 2019). Chen amplía el concepto del gemelo digital, afirmando que el DT no es solamente un sistema virtual para el estudio de la simulación, sino que proporciona el estado de la operación, perspectivas, resultados y conocimiento que están asociados con las funciones del sistema físico. Un gemelo digital tiene la capacidad de comunicarse con el sistema físico representado mediante detectores, permitiendo que se mantenga una sincronización en tiempo real del estado, condiciones de trabajo y situación del entorno, además de predecir condiciones futuras (Chen, 2017).

7.1.2.3 Fabricación integrada. Dentro del nuevo paradigma de fabricación que está surgiendo con la industria 4.0, la fabricación integrada ha aparecido como una tendencia en línea con el avance de la cuarta revolución industrial, en la cual se busca una mayor eficiencia en los procesos de producción. Las máquinas y los dispositivos son parte de un mismo sistema, y todos los componentes se pueden coordinar de manera efectiva para lograr una mejora en la productividad (Chen, 2017). Las tecnologías de sistemas ciberfísicos abrieron la puerta para llevar la integración a un nuevo nivel, haciéndola más amplia, profunda y abierta. De esta forma, los controles del sistema de manufactura ya no solo tratan con objetos y dispositivos físicos, sino que pueden procesar una gran variedad de datos, información y conocimiento en tiempo real (Kagerman et. al., 2013). Este proceso se realiza mediante tres niveles de integración en la industria: integración vertical, horizontal y extremo a extremo. También se identificó otra tendencia importante en la fabricación integrada: La arquitectura empresarial.

7.1.2.3.1 Integración vertical. En la integración vertical, las actividades de marketing, diseño, ingeniería, producción y ventas están estrechamente integradas, abordando el problema

de conectividad entre todos los elementos que se incluyen en el ciclo de vida del producto en una organización (Chen, 2017). Es un tipo de estrategia de crecimiento empresarial en el que la organización lleva a cabo actividades que normalmente están delegadas a terceros. Las ventajas que conlleva este tipo de integración son un control y reducción de costos, mayor control sobre la cadena de producción, y más presencia en el mercado en que se opera (EDS Robotics, 2021). Además, permite utilizar mejor tecnologías para respaldar el intercambio de información y conocimiento dentro de la organización, para que se utilicen de forma más eficiente.

7.1.2.3.2 Integración horizontal. Este tipo de integración se da cuando una empresa está estrechamente ligada con sus proveedores y socios. Es una estrategia que adoptan las compañías que quieren ofrecer sus productos o servicios en distintos mercados. La integración horizontal está relacionada, por una parte, con la dirección estratégica de la organización, y por otra, con su sistema productivo (EDS Robotics, 2021). La gestión de la cadena de suministro es un campo donde se han adoptado varias tecnologías para establecer una red de valor horizontal en muchos sectores industriales. Sin embargo, existen desafíos en términos de eficiencia, protección de propiedad intelectual, intercambio de conocimientos, etc. Se están desarrollando bases de conocimiento junto con internet industrial de las cosas para eliminar de forma potencial estas barreras y mejorar la eficacia y calidad de la integración horizontal (Chen, 2017). La integración horizontal se refiere a la combinación de varias cadenas de producción independientes y es un requisito para la implementación de la industria 4.0. Permite que todos los elementos productivos involucrados funcionen comunicándose en tiempo real (Hernández et. al., 2020).

7.1.2.3.3 Integración extremo a extremo. La integración extremo a extremo es actualmente el área más activa en la nueva era de la fabricación. En primer lugar, se genera la integración de máquina a máquina para que estas sean una parte integral del sistema de

fabricación. En segundo lugar, se busca la integración de los clientes en el sistema de fabricación, para que los ingenieros puedan obtener una retroalimentación por parte de estos de manera fácil y oportuna, y hacerlos partícipes desde la etapa de producción. En tercer lugar, se vuelve factible hacer la integración de producto a servicio, permitiendo que el fabricante controle directamente las condiciones del producto en uso. De esta forma, la cadena de valor se puede extender al servicio al cliente del producto (Chen, 2017). Un ejemplo de uso de esta integración es Fractal, empresa de software de gestión de mantenimiento, quienes combinando tecnologías IOT, computación en la nube e inteligencia artificial, han logrado organizar el flujo constante de datos y anticipar fallas futuras, involucrando directamente a activos, técnicos y clientes, logrando mejorar la capacidad de sus activos para generar valor y la capacidad global de la empresa y su equipo de trabajo (Fractal, 2021).

7.1.2.3.4 Arquitectura empresarial. La arquitectura empresarial (EA), es una metodología que, basada en una visión integral de las organizaciones, permite alinear datos, aplicaciones, procesos e infraestructura con los objetivos estratégicos de la empresa. Su objetivo es alinear los procesos de negocio con la tecnología de la organización, para alcanzar el cumplimiento de sus objetivos estratégicos (MINTIC, 2013). El grupo Gartner, empresa consultora y de investigación de las tecnologías de la información líder en Estados Unidos, describe la arquitectura empresarial como un proceso de cambio que crea y mejora los principios, requisitos y modelos clave que describen una organización, su estado presente, futuro y posibilita su evolución (Gartner, 2021). La importancia de los EA cada vez es mayor, debido a que funcionan como planos para comprender y guiar organizaciones grandes y complejas. Tal es su importancia, que en Estados Unidos, las organizaciones del departamento de defensa están obligadas a construir y mantener arquitectura empresarial (Hoyland et. al., 2014).

Una EA presenta la estructura de la empresa y consta de sus principales componentes, como sus objetivos, infraestructura de la información, procesos comerciales y estructuras organizativas. Si el sistema de arquitectura empresarial representa de forma fiel las características y naturaleza de la organización, se pueden optimizar las innovaciones, reingeniería de procesos comerciales y la calidad y oportunidad de la información, mejorando el desempeño general de la empresa (Xu et. al., 2018).

El Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones MINTIC, identifica seis componentes dentro de la arquitectura empresarial: Estrategia, gobierno de TI, sistemas de información, servicios de tecnología, uso y apropiación, y señala como principales ventajas: la definición de un plan estratégico real; la alineación de todas las áreas de la organización mediante un mapa de navegación; la identificación de oportunidades de integración y re uso efectivo de aplicaciones y recursos de la organización; la flexibilidad que da a la organización para estar en capacidad de responder de forma ágil y acertada los retos y oportunidades que presenta el mercado; el desarrollo de las tecnologías de información en la organización en línea con el cumplimiento de la misión y objetivo de negocio; establecer una trazabilidad entre procesos, datos, aplicaciones e infraestructura tecnológica de la organización. (MINTIC, 2013). Además, describe cuatro niveles para iniciar un proceso de planeación de arquitectura empresarial: Inicio, diagnóstico, meta, plan general y proyectos. Estos se describen en la tabla 11.

Tabla 11.

Niveles para un proceso de planeación de arquitectura empresarial.

Nivel	Definición
Inicio	Se define la metodología que utilizará los recursos involucrados en el proyecto (humanos, tecnológicos, económicos, entre otros).

Diagnóstico	Se analiza la situación actual, inventario de procesos de negocio, aplicaciones, infraestructura tecnológica y sistemas de información. Además, se incluye un análisis de los niveles de integración e interoperabilidad entre todos ellos.
Meta	Se define el punto o situación a la que la organización quiere llegar con la aplicación de arquitectura empresarial en sus cuatro componentes: razón de ser, datos, aplicaciones e infraestructura tecnológica.
Plan general y proyectos	Se definen los proyectos necesarios para llegar a la meta, la prioridad de estos, análisis de costo/beneficio y plan general de ejecución.

Nota: Tomado de Ministerio de Tecnologías de la información y comunicaciones MINTIC.

Las aplicaciones de integración, consolidación y coordinación, son considerados como un tema crítico de la industria 4.0. La tendencia es la interconexión e integración de empresas de diferentes sectores industriales (Xu et. al. 2018). En la mayoría de casos, las empresas tienen sistemas heredados que pretenden seguir utilizando y quieren agregar nuevos conjuntos de aplicaciones a la operación. Para abordar estos casos, existe una solución que se desprende de la EA, llamada Integración de aplicaciones empresariales (EAI). Weber señala que uno de los principales problemas que rodean la industria 4.0 es que los equipos actuales no son capaces de comunicarse con la tecnología recientemente implementada (Weber, 2016). EAI se encarga de integrar las nuevas capacidades digitales basadas en sistemas ciberfísicos con las arquitecturas, sistemas y procesos existentes, a través de un mecanismo de integración flexible y conveniente, que incluye fuentes de datos, plataformas, procesos y aplicaciones. Combinando software, hardware y estándares, la integración de aplicaciones empresariales hace posible compartir e intercambiar datos e información sin inconvenientes (Gorkhali y Xu, 2016).

7.1.3 Aprendizaje automático.

Una de las características clave de la inteligencia humana es su capacidad de aprender, por ese motivo, en el marco de la industria 4.0 y la era de la digitalización, se busca que las máquinas y computadoras adquieran también esta característica. El aprendizaje automático o machine learning (ML), se refiere a la capacidad que tiene una máquina de aprender y comprender el interior de un sistema físico, mediante algoritmos informáticos basados en datos (Chen, 2017). Microsoft lo define como el “proceso mediante el cual se usan modelos matemáticos de datos para ayudar a un equipo a aprender sin instrucciones directas, y se considera un subconjunto de la inteligencia artificial” (Microsoft, 2021). ML identifica patrones de datos a través de algoritmos, y con base en ellos se crea un modelo de datos que permite hacer predicciones. El aprendizaje automático es una realidad al día de hoy, y sus aplicaciones se pueden ver en numerosos ejemplos: los automóviles de conducción autónoma de Google, ofertas de recomendaciones en línea de Amazon y Netflix, estadísticas de clientes en Twitter, entre otros (SAS, 2021). Amazon ofrece un conjunto de servicios de aprendizaje automático, poniéndolos al alcance de cualquier desarrollador y profesional experto, ayudándoles a acelerar su transición hacia el ML (Amazon, 2021).

En el caso de la industria de la fabricación, la implementación de un algoritmo de aprendizaje automático, hace posible que máquinas y otros dispositivos aprenda sus condiciones de trabajo y su línea de base de forma automática. Además, puede crear una base de conocimiento y actualizarla a lo largo de todo el proceso de fabricación (Chen, 2017).

Esta tendencia también se está usando en otros contextos, como en la educación, ya que se está usando el aprendizaje automático para predecir el rendimiento estudiantil. Se produce un clasificador de ML que evalúan las actuaciones de los estudiantes, prediciendo las calificaciones y posibles abandonos, perfilando y categorizando las actuaciones y materiales del curso. El

comportamiento escalable y jerárquico del sistema permite que se realicen perfiles y se categoricen distintos tipos de ejercicios adecuados para varios cursos (Kanth et. al., 2018).

Con el aumento de la potencia computacional, el ML ha ganado rápidamente popularidad en una gran variedad de industrias debido a su gran capacidad de recopilación de datos. La industria metalúrgica y de minerales están implementando modelos basados en aprendizaje automático debido a la gran cantidad de datos recopilados y la necesidad de hacer predicciones precisas de los estados del proceso (Lissa & Jounela, 2019).

7.2 Tendencias de innovación en la educación de ingeniería

La dinámica de la economía de mercado global ha hecho que surja una necesidad de fuerza laboral de alta tecnología y digitalizada, que exige estudiantes de pregrado de ingeniería debidamente capacitados y con habilidades de comunicación efectivas (Ngaile et. al., 2013). Para que los futuros profesionales puedan ser competitivos en el mercado del futuro, la educación debe brindar los conocimientos y habilidades necesarias para afrontar la cuarta revolución industrial, proporcionando las competencias cognitivas para hacer frente al cambio tecnológico cambiante. Pero además de esas habilidades básicas, también son necesarias una serie de habilidades no cognitivas en los estudiantes de ingeniería industrial, como el pensamiento crítico, trabajo en equipo, facilidad para construir relaciones interpersonales, capacidad para resolución de problemas, entre otros. La importancia de la transmisión de estas habilidades no cognitivas cada vez es mayor, debido a que los trabajos que requieren de estas serán los últimos en ser reemplazados por procesos automatizados (Ramírez et. al, 2018). Para el desarrollo de estas habilidades, se identificaron las principales tendencias en la educación de la ingeniería industrial que se están implementando en las principales universidades e instituciones educativas del mundo. Estas se clasificaron y caracterizaron en seis principales tendencias: Aprendizaje basado

en proyectos y colaborativo; Makerspaces; Lean Thinking Learning; Metodologías de innovación; Interacción Industria – Universidad y Educación 4.0.

7.2.1 Aprendizaje basado en proyectos y colaborativo

El aprendizaje basado en proyectos se entiende como una estrategia de innovación que permite a los estudiantes interactuar con problemas relacionados con el contexto profesional. Se enfoca en el trabajo en equipo interdisciplinario para la resolución de problemas, y logra articular práctica y teoría durante la ejecución de un proyecto abierto (Kolmos, 2009). Los problemas con los que se interactúa son transversales y tienen un gran componente comercial y social, desarrollándose en interacción con usuarios de estas áreas, permitiendo a los estudiantes experimentar un entorno de aplicación con diferentes profesionales, ganando experiencia y explorando y desarrollando habilidades de ingeniería, teniendo como facilitadores y supervisores del aprendizaje a profesionales de la industria y profesores universitarios (Dos Santos & Benneworth, 2019).

Esther Wojcicki, vicepresidenta de Creative Commons, organización sin fines de lucro que promueve el acceso e intercambio de conocimientos y creatividad para abordar los desafíos del mundo (Creative Commons, 2021), explica que la educación futura debe apuntar a explotar las tecnologías digitales como base para el aprendizaje basado en proyectos, debido a que el 80% del aprendizaje de los estudiantes se lleva a cabo por fuera del aula, a causa de las acciones e interacciones características de estas actividades (Bertoni, 2019).

Por su parte, el aprendizaje colaborativo es una técnica didáctica que, basado en el trabajo en pequeños grupos con estudiantes con diferentes niveles de habilidad, busca promover el aprendizaje centrado en el alumno, utilizando distintos tipos de actividades para mejorar el rendimiento y entendimiento sobre la materia. La responsabilidad del equipo es compartida, ya

que no sólo deben preocuparse por el aprendizaje propio, sino por el de los demás miembros del equipo (Tecnológico de Monterrey, 2021). El aprendizaje colaborativo permite que los estudiantes aprendan mejor de los instructores con más experiencia en áreas específicas, y estos a su vez, se aseguran que la mayor parte de los estudiantes hayan absorbido el material enseñado. Las estrategias de esta técnica pueden proporcionar a los alumnos varias ventajas, como la oportunidad para experimentar múltiples perspectivas debido a los distintos orígenes de los alumnos, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico mediante el proceso de valorar, apoyar u oponerse a diferentes puntos de vista (Ngaile, 2015). Dentro de estas técnicas, se destacan dos conceptos interesantes que se están estableciendo como una tendencia en el aprendizaje colaborativo y de proyectos: La educación STEM y Vigilante Innovation.

7.2.1.1 Educación STEM. La educación STEM (Science, technology, engineering, mathematics) es un campo de estudio interdisciplinario que integra conocimientos y habilidades en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, y está dirigida al desarrollo de las conductas de trabajo, razonamiento lógico y cuestionamiento de investigación de los alumnos en una colaboración (Sen et. al., 2019). La educación STEM es un enfoque educativo donde se crean vínculos con diferentes disciplinas para resolver problemas de la vida real (Mobley, 2015) y crea oportunidades de estudio interdisciplinario contribuyendo positivamente a las habilidades básicas de los estudiantes, como la resolución de problemas y el pensamiento crítico (Australian Education Council, 2015). Uno de los objetivos de STEM es desarrollar las habilidades necesarias para satisfacer las necesidades de la fuerza laboral de la cuarta revolución industrial, para que los estudiantes trabajen y encuentren soluciones a problemas complejos y globales. Estas habilidades se pueden expresar como “la forma de proporcionar una comprensión y transferencia de conocimiento significativa y profunda entre disciplinas” (Sen et. al., 2019).

Cookson (2009), enfatizó en la importancia de lograr un entorno de enseñanza interdisciplinario que fuera personalizado, inclusivo, flexible, colaborativo, atractivo y centrado en el estudiante, proporcionando una educación de calidad y un entorno competitivo.

La educación STEM proporciona las habilidades necesarias para la resolución de problemas innovadores y creativos basados en la ingeniería, y durante las actividades de esta, los estudiantes están “aprendiendo mientras hacen diseño”, probando y verificando sus productos durante el proceso de ingeniería llevado a la etapa de resolución de problemas. Algunas de estas habilidades son: resolución de problemas basada en ingeniería, habilidad de asociación, habilidades de diseño, innovación, competencia digital, creatividad, comunicación y colaboración (Bagiati & Evangelou, 2016).

English, King y Smeed (2017), describen los siguientes pasos para resolver problemas en educación STEM, que se describen en la tabla 12:

Tabla 12.

Pasos para la resolución de problemas en la educación STEM.

Paso	Descripción
Determinación e identificación de la situación problemática	Es la etapa más básica del proceso de diseño. El problema se aborda ampliamente y se determinan las limitaciones y objetivos. Es un paso importante ya que afecta al proceso de diseño y entrega de productos, y debido a que los problemas de la vida real en actividades STEM son complejos, determinarlos y definir sus limitaciones es eficaz para construir soluciones
Desarrollo de productos para resolución del problema	Para resolver un problema en la educación STEM, el producto es introducido. Para ello, las etapas de planeación, diseño, evaluación, rediseño y producción son incluidas. En

esta etapa, los estudiantes transmiten sus ideas sobre sus productos a través de modelado verbal, escrito, visual o 3D. En este paso, se da gran importancia a las habilidades de comunicación de los estudiantes para expresar sus pensamientos a través del dibujo o modelado en programas 3D.

Evaluación del producto y configuración

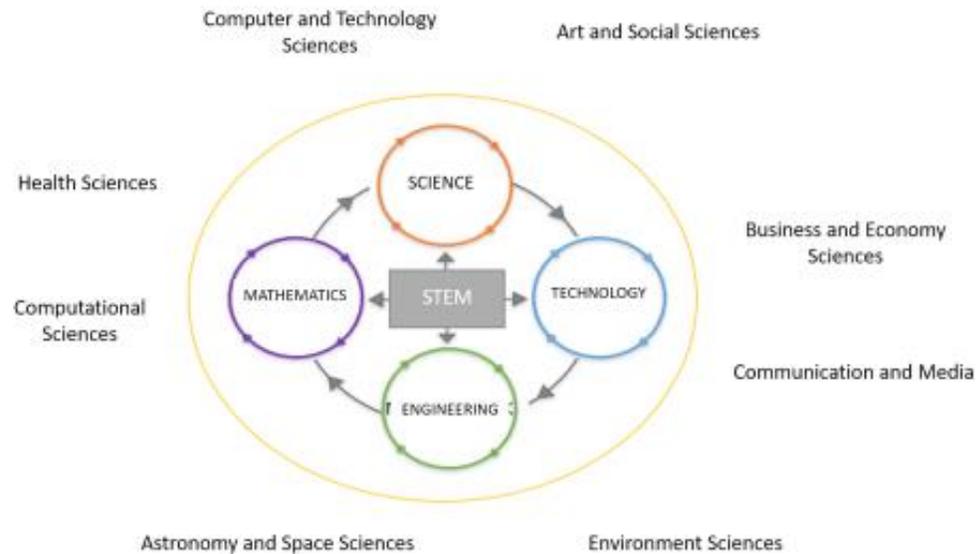
La fase de evaluación del producto es importante para desarrollar una comprensión profunda del problema. En esta fase, los estudiantes identifican, corrigen y mejoran las deficiencias de sus productos. Además, tienen la capacidad de identificar de forma profunda las causas raíces de las deficiencias de los productos y aplicar acciones correctivas permanentes. Se desarrolla la capacidad para diseñar y producir productos basados en el conocimiento académico de las disciplinas STEM de resolución de problemas.

Nota: Tomado de: Tomado de English, King y Smeed (2017).

Otro de los objetivos de la educación STEM es permitir que los estudiantes relacionen diferentes disciplinas entre sí, así como reconocer la importancia, efecto y como se ubican cada una de ellas. Las disciplinas STEM se pueden relacionar con muchos campos, como el arte, lenguaje, historia, geografía, etc. En lugar de introducir campos relacionados entre sí, pero aislados de otras disciplinas, los campos STEM son efectivos en diferentes disciplinas, proporcionando a los estudiantes una conciencia de la importancia de esta metodología (Sen, 2018). En la figura 13 se muestra un esquema de la relevancia de las habilidades STEM con distintos campos de la vida profesional.

Figura 13.

Relevancia de la educación STEM en distintos campos disciplinarios.



Nota: Tomado de: Sen (2018). STEM skills in the 21st century education.

7.2.1.2 Vigilante Innovation. Para ampliar la calidad en la capacitación de estudiantes especializados en el campo STEM, y reforzar el aprendizaje colaborativo, el programa de investigación de pregrado SyBBURE Searle, quienes tienen como objetivo incubar e inspirar a las próximas generaciones de innovadores a través de la investigación, el diseño y la comunidad (SyBBURE, 2021), ha incorporado un componente de diseño basado en la colaboración en su plan de estudios llamado Vigilante Innovation (VIX), que combina la capacitación justo a tiempo en emprendimiento y el diseño de proyectos con colaboraciones impulsadas por los estudiantes, destinado a resolver problemas del mundo real. SyBBURE Searle define este concepto como una herramienta para que los alumnos tomen la innovación con sus propias manos, y cuya funcionalidad es servir de guía para ayudar a los estudiantes a navegar por el proceso de diseño,

brindando un marco al que se pueda recurrir en el futuro cuando se genere alguna idea que se quiera seguir (SyBBURE, 2021).

El marco VIX define un proceso flexible y un entorno de apoyo que se centra en el alumno, para reunir a estudiantes de diferentes disciplinas y clasificarlos en equipos pequeños y multidisciplinarios de 3 a 4 integrantes, los cuales aportan sus conocimientos y experiencia en torno a un área de interés común. El área de interés según el cual se forman los equipos no tiene limitaciones y los estudiantes pueden tener cualquier fuente de inspiración, como sus propias vidas, noticias, eventos actuales, tendencias en tecnología, etc. Dentro de estas áreas de interés, los equipos trabajan para identificar problemas críticos y generar prototipos de soluciones. Los equipos son dirigidos por los mismos estudiantes, y un asesor científico o instructor actúa como facilitador, dejando que la creatividad de los estudiantes y la dinámica del equipo se desarrolle más libremente (Oliver et. al., 2018). Este marco comenzó a desarrollarse en el verano del 2014, y a partir de allí ha tenido un crecimiento donde se ha reestructurado el proceso en un enfoque de varios semestres, lo que ha permitido que se haya generado una evolución en el programa, siendo más independiente y adaptándose mejor a los intereses del estudiante. Además, el marco VIX apoya el objetivo de desarrollar habilidades de trabajo en equipo a través de proyectos de diseño impulsados por los mismos estudiantes, trabajando así las habilidades necesarias para sus futuras carreras (Oliver et. al. 2018).

SyBBURE Searle ha creado una guía de innovación donde se detallan seis pasos a seguir para el proceso de diseño del Vigilante Innovation. Estos pasos se describen en la tabla 13.

Tabla 13.*Etapas para el proceso de diseño de Vigilante Innovation.*

Etapas	Descripción
Explorar	Los estudiantes exploran sus intereses y problemas relacionados.
Formación de equipos	Los estudiantes discuten sus intereses y habilidades, y luego crean equipos alrededor de su área de interés.
Entender	Los estudiantes conducen una investigación a fondo, interactúan con usuarios y expertos, y desarrollan un estado del problema.
Idear	Los estudiantes intercambian ideas y soluciones y se seleccionan las características que deben ir incluidas en el diseño.
Prototipo	Los estudiantes crean versiones iniciales de sus ideas, y realizan cambios basados en la viabilidad y retroalimentación.
Validar	Los estudiantes distribuyen sus creaciones hacia un grupo grande de personas para recibir comentarios y retroalimentación, y se desarrollan planes para la comercialización.

Nota: Tomado de: SyBBURE Searle. www.Vigilanteinnovation.com

7.2.2 Makerspaces

Las nuevas tecnologías en los procesos de fabricación y creación de prototipos, han acelerado el crecimiento de la industria en los últimos años. Este crecimiento se puede rastrear a través del desarrollo de tecnologías de programación y electrónica, y el uso cada vez más frecuente de software libre, lo que ha permitido que surjan nuevos espacios para la enseñanza y el aprendizaje, que se denominan “Makerspaces” (Dos Santos & Benneworth, 2019).

Los Makerspaces son entornos de creación de prototipos y fabricación digital que permiten la creatividad y estimulan la innovación colaborativa y el desarrollo de nuevos negocios, integrando máquinas y dispositivos. Entre las características beneficiosas que tiene, se encuentra: el aprendizaje de los estudiantes es más activo; mayor interacción entre estudiantes y profesores a través de diferentes áreas; los estudiantes entran de forma más fácil en contacto con la realidad profesional de su campo (Anderson, 2014).

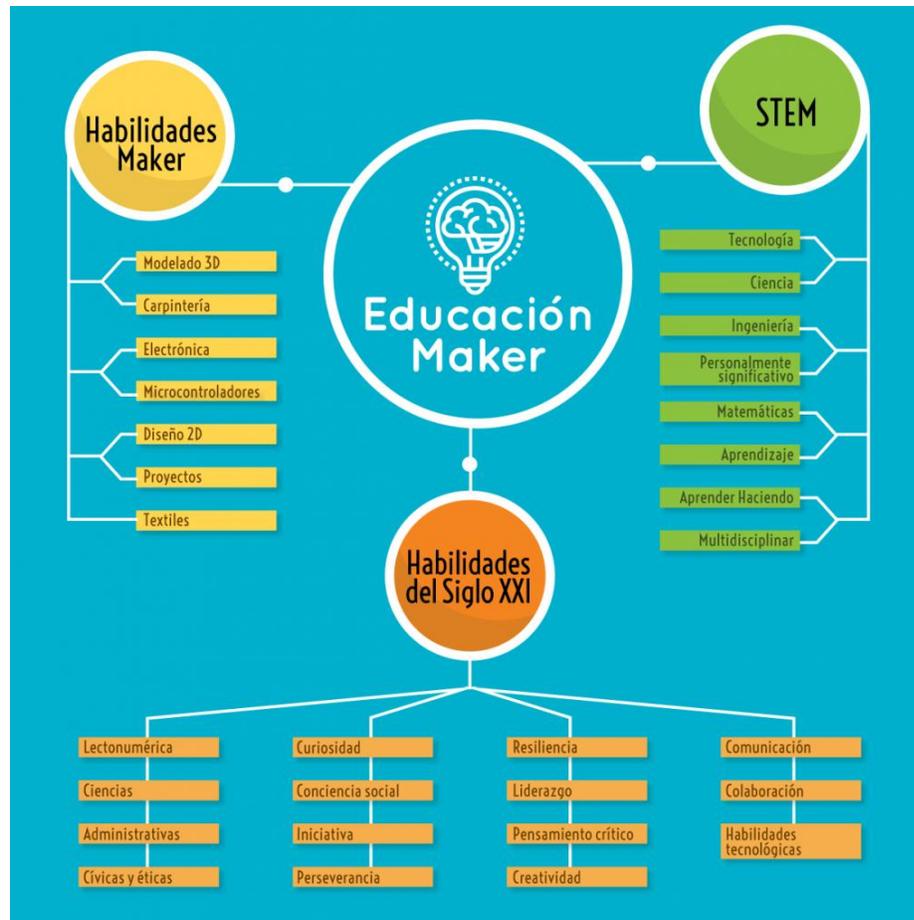
El potencial de estos espacios como un enfoque estratégico para la enseñanza y el aprendizaje relacionados con la cuarta era industrial es bastante grande, y las universidades y academias que quieran hacer un cambio en su modelo educativo para adaptarse a la industria 4.0 deben comprender mejor este modelo, e invertir en este tipo de infraestructuras educativas. Generando innovación en espacios creativos de aprendizaje, la universidad se asegura que se estén formando profesionales con las competencias requeridas por la sociedad y la industria (Dos Santos & Benneworth, 2019).

Los Makerspaces se están convirtiendo en un espacio de innovación cada vez más popular en universidades y otras instituciones educativas, y este concepto se ha extendido incluso a las ciudades como espacios abiertos al público (Farritor, 2017). Estos espacios, además de brindar acceso a herramientas y tecnología, también fomentan el intercambio de conocimientos centrándose en la innovación, estimulando la creatividad, con varios equipos de bajo costo instalados, para facilitar a los participantes la creación de nuevos productos y el desarrollo de proyectos y prototipos (Graves, 2014).

Las actividades colectivas realizadas en estos espacios buscan nuevas formas de construcción y difusión de la innovación y colaboración, que están arraigadas en el movimiento Maker, la cual es una evolución de la cultura Do It Yourself, y está basada en prácticas de

creación, construcción, modificación y reparación utilizando tanto herramientas tradicionales como digitales (Taylor, 2016). La Red de Educación Maker, grupo de organizaciones y personas interesadas en el intercambio de experiencias y el estudio de los sustentos pedagógicos y didácticas Maker en la educación, define la educación Maker como un enfoque de construcción del aprendizaje basado en objetos y proyectos, y cuyos contenidos se construyen en la mente del estudiante a través de la experimentación y el juego con materiales y herramientas (REM, 2021).

La educación Maker integra diferentes habilidades y competencias, como las habilidades Maker, STEM y habilidades del siglo 21, que se muestran en la figura 14:

Figura 14.*Integración de la educación Maker.*

Nota: Tomado de: Red de Educación Maker

Actualmente, los Makerspaces se podrían clasificar en tres tipos: Digital manufacturing labs, Hackerspaces y Fablabs. Son espacios sociales, con talleres abiertos que proporcionan diversas herramientas y equipos para desarrollar proyectos individuales o colaborativos, donde personas con distintas habilidades pueden aprender unas de otras y colaborar alrededor de proyectos de interés común (Taylor, 2016). Las descripciones de estos tres tipos de Makerspaces se detallan en la tabla 14:

Tabla 14.*Tipos de Makerspaces*

Tipo	Descripción
Digital manufacturing labs	Los laboratorios de fabricación digital son espacios instalados en entornos educativos que están fuertemente conectados, donde se desarrolla la creatividad e inventiva, a través del uso de herramientas de fabricación digital, y están generalmente vinculados a un departamento involucrado en la investigación, desarrollo o producción de modelos y prototipos (Celani, 2012).
Hackerspaces	Espacios que comprenden a los estudiantes y personas interesadas en el funcionamiento de la electrónica y programación, como laboratorios comunitarios, siguiendo prácticas hackers y maker. Estos espacios de un interés creciente debido a que ofrecen áreas de interacción entre las personas y las tecnologías informáticas (Toombs, 2017).
Fablabs	Plataformas de prototipado técnico para la invención, innovación y aprendizaje. Promueve el intercambio de conocimientos, archivo y documentación. Cualquier persona de una comunidad tiene acceso a este espacio, y los usuarios contribuyen con la alimentación de la información e instrucción.

Un ejemplo práctico de Makerspace es la Universidad de Twente (UT) en los Países Bajos con su iniciativa Designlab. Este espacio está dedicado a introducir enseñanzas específicas y equipos de investigación enfocados en una cultura creativa. El proceso de diseño de Designlab sigue cinco fases: Análisis, ideación, conceptualización, prototipos y comunicación. El espacio físico del Makerspace está diseñado con base a este flujo y tiene espacios disponibles que se pueden usar para cada una de las fases de manera óptima, combinando alta tecnología con el factor humano. Estos son los dos núcleos principales, y su combinación se ha convertido en la punta de lanza del futuro (Dos Santos & Benneworth, 2019).

7.2.3 Lean-Thinking-Learning

El Lean-Thinking-Learning Space (LTLS), es un espacio flexible e innovador diseñado para el desarrollo de competencias personales y disciplinarias a través del aprendizaje experiencial y el aprendizaje basado en desafíos. Además, se basa en los conceptos y herramientas de mejora continua de procesos y el modelo de producción Lean Manufacturing bajo tres aspectos fundamentales: Efectividad, eficiencia e innovación. Esta metodología tiene en cuenta los siete principios bajo la filosofía Lean Manufacturing: Hacerlo bien a la primera; Excluir actividades que no añaden valor; Mejora continua; Reducción de stocks; Flexibilidad; Relación con proveedores y Cambio de enfoque de ventas (Andreau, 2021).

La demanda cada vez más cambiante de productos ha hecho que surjan problemas inherentes al proceso de fabricación, y el LTLS permite a los estudiantes desarrollar soluciones flexibles y adaptables a las necesidades cambiantes de transformación de proceso para mantener niveles adecuados de desempeño. El aprendizaje es incremental, los objetivos de este están definidos por la demanda, y se deben lograr a medida que los estudiantes consoliden la comprensión y conocimientos que adquieren. El LTLS brinda un enfoque interactivo en la enseñanza de ingeniería en cuanto a la enseñanza de contenidos disciplinarios y el desarrollo de competencias personales, además, crea interacciones dinámicas entre los estudiantes y experiencias de aprendizaje relevantes para la práctica profesional y sus futuras carreras profesionales (Garay, Rodríguez & Salinas, 2019).

El Lean-Thinking-Learning Space ayuda a los académicos a buscar nuevas aplicaciones que tengan impacto en la sociedad a partir del aprendizaje y las competencias que los estudiantes logran adquirir en sus disciplinas. El LTLS es el resultado de una colaboración entre estudiantes y académicos, en la cual mejoran y evolucionan de forma progresiva el espacio de aprendizaje,

incorporando nuevas estrategias y métodos de enseñanza, e identificando nuevas posibilidades de actividades de aprendizaje. Esta metodología ha evolucionado incorporando nuevos roles de producción, operaciones, productos, actividades y competencias (Garay, Rodríguez & Salinas, 2019).

El LTLS mezcla los conceptos de aprendizaje experiencial, basado en desafíos, basado en competencias y Lean Manufacturing, integrándolos en una sola metodología de aprendizaje innovador.

7.2.3.1 Aprendizaje experiencial. El aprendizaje experiencial o Experiential Learning (EL), es una metodología que busca desarrollar la capacidad de las personas para aprender de su propia experiencia, dentro de un marco conceptual concreto y bien desarrollado. La Universidad Internacional de Valencia, la define como un método pedagógico que estructura las diversas experiencias en función de los objetivos educativos que se quieren alcanzar, y cuyas principales ventajas son: Permitir un espacio de crecimiento personal a partir del conocimiento de sí mismo; permitir una interacción permanente entre la acción y reflexión; Mejorar la estructura cognitiva del estudiante; facilitar el incremento del liderazgo; y facilitar el proceso de integración, mejorando el trabajo en equipo (VIU, 2021). Otro enfoque lo dan Garay, Rodríguez y Salinas, quienes afirman que es una filosofía que forma muchas metodologías en las que los educadores se involucran con los alumnos en la experiencia directa, para aumentar el conocimiento, desarrollar habilidades y aumentar la capacidad de los estudiantes para contribuir a sus comunidades (Garay, Rodríguez & Salinas, 2019).

Algunas universidades utilizan proyectos de clase, trabajos de investigación, clubes estudiantiles y otros trabajos académicos en diferentes etapas de desarrollo como ejemplos de aprendizaje experiencial para los estudiantes. Algunos ejemplos son: los programas de ingeniería

de la Universidad de Purdue, la Universidad Estatal de Oregon, la Universidad de Chester, la Universidad de Colorado y la Universidad de Texas.

Fomentar el aprendizaje experiencial es una tarea fundamental para los profesores de ingeniería al crear actividades de aprendizaje alineadas de forma constructiva y exponiendo a los estudiantes a situaciones que imitan las que enfrentan los ingenieros en su profesión diaria. La educación en ingeniería industrial debe preparar a los estudiantes a volverse emprendedores, y la preparación para el espíritu empresarial implica competencias únicas, donde el aprendizaje experiencial es fundamental para desarrollar una mentalidad empresarial en la educación de ingeniería (Bertoni, 2019).

7.2.3.2 Aprendizaje basado en desafíos. Es un enfoque pedagógico que involucra el hacer o actuar del estudiante respecto a un tema de estudio (Jou et. al. 2010). Ofrece un marco de aprendizaje centrado en el estudiante que emula las experiencias de un lugar de trabajo moderno, aprovechando el interés de los estudiantes por darle un significado práctico a la educación, toda vez que se desarrollan competencias clave como el trabajo en equipo y multidisciplinario, la toma de decisiones y el liderazgo (Malmqvist, 2015).

El aprendizaje basado en desafíos tiene sus raíces en el aprendizaje experiencial, y promueve un conocimiento más profundo de los contenidos que se están estudiando para identificar y resolver desafíos en la comunidad y socializar los resultados (Johnson et. al., 2009). Este modelo da a los estudiantes problemas lo suficientemente grandes para aprender nuevas ideas y utilizar nuevas herramientas para resolverlos, pero a la vez, lo suficientemente cercanos para que sea importante encontrar una solución. Otro componente integral del aprendizaje basado en desafíos es el acceso a la tecnología, pues proporciona a los estudiantes un medio para

explorar distintas fuentes de información mientras generan nuevas ideas, y ofrece las herramientas necesarias para comunicar los resultados (CDD, 2018).

Una de las principales tendencias en esta metodología es el modelo educativo Tec21. Este modelo, impulsado por la Universidad de Monterrey, utiliza componentes del aprendizaje basado en desafíos, laboratorios de práctica física y virtual y metodologías de enseñanza para adaptarse a la transformación digital y las demandas de la industria 4.0 (Cantú et. al., 2020). El Tecnológico de Monterrey lo define como una metodología que permite la formación de competencias sólidas e integrales que ayudan a resolver creativa y estratégicamente los retos del presente y futuro, y consta de cuatro componentes clave: el aprendizaje basado en competencias; personalización y flexibilidad; inspiración de los profesores; y vivencia memorable (Tecnológico de Monterrey, 2021).

7.2.3.3 Aprendizaje basado en competencias. Es un método de aprendizaje que centra el avance de sus estudiantes en su capacidad de dominar distintas temáticas y demostrar su comprensión de las mismas. Los estudiantes llevan el estudio a su propio ritmo, trabajando en proyectos en los que quede demostrado de forma manifiesta su dominio de cada tema para obtener la certificación que le permita avanzar en la carrera (Franceschin, 2016). Para la aplicación del aprendizaje basado en competencias, los docentes deben pasar a ser facilitadores de aprendizaje y garantizadores del logro de las competencias personales y profesionales requeridas (UNIR, 2021).

Cano definió tres elementos que se deben tener en cuenta y que caracterizan las competencias en la acción docente: Articular el conocimiento conceptual, procedimental y

actitudinal; las competencias deben desarrollarse con formación inicial y permanente; y la suposición de acción reflexiva y de mejora continua (Cano, 2008).

7.2.3.4 Lean Manufacturing. Es un sistema de organización del trabajo que se enfoca en la mejora del sistema de producción. Se basa en la eliminación de los procesos que no aportan valor a la vez que optimiza el sistema productivo. Su objetivo es minimizar las pérdidas y maximizar el valor añadido al cliente, donde se resaltan tres aspectos clave: la capacidad para satisfacer las expectativas del cliente, la eficiencia en el uso de los recursos y la innovación como forma de lograr la mejora continua de procesos (ESAN, 2021). Por su parte, la Asociación para el Progreso de la Dirección, APD, define tres aspectos sobre los que se basa la filosofía Lean: Efectividad, Eficiencia e Innovación, y enumera los siete principios del Lean Manufacturing: Hacerlo bien a la primera, excluir actividades que no añaden valor, mejora continua, reducción de stocks, flexibilidad, colaboración con los proveedores y cambio en el enfoque de venta (APD, 2021).

7.2.4 Modelos de innovación

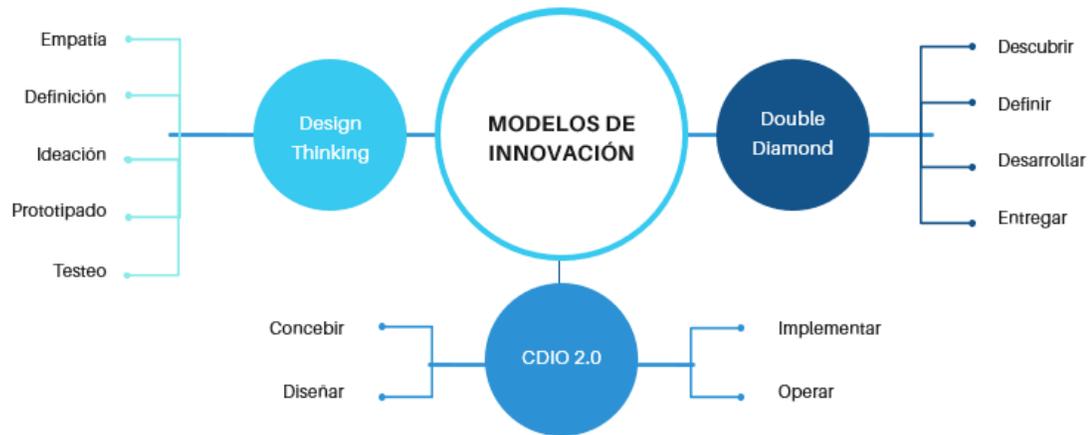
El impulso de la innovación dentro del mundo empresarial ha obligado a que se cuenten con rutas documentadas que faciliten el desarrollo de proyectos para aumentar sus probabilidades de éxito. Un modelo de innovación es la guía para descubrir el reto a resolver, desarrollar una solución funcional y asegurar su sostenibilidad (Peralta, 2019).

Dentro de la revisión de literatura, se han encontrado modelos de diseño e innovación que se están implementando en la actualidad en las principales universidades del mundo. Las más destacadas son el modelo de Doble Diamante, Design Thinking, y la que está surgiendo como la

principal tendencia de los modelos de innovación: el modelo CDIO 2.0. En la figura 15 se muestran los tres modelos con sus principales fases.

Figura 15.

Modelos de innovación y sus fases.



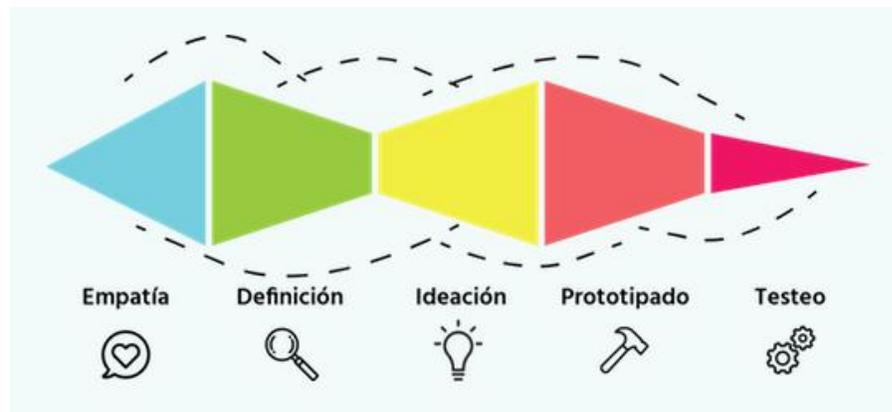
7.2.4.1 Design Thinking. El Design Thinking es un método para generar ideas innovadoras que centra su eficacia en entender y solucionar las necesidades reales de los usuarios, usando la sensibilidad y métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertir en valor para el cliente, así como una gran oportunidad para el mercado (Brown, 2019).

Este método se desarrolla siguiendo un proceso en el que se ponen en valor sus cinco características diferenciales: La generación de empatía, el trabajo en equipo, la generación de prototipos, la lúdica, y el contenido visual. Además, para la implementación del Design Thinking, es necesario tener preparado cuatro requisitos: Los materiales necesarios, el equipo, un espacio de trabajo y actitud de diseñador (DESIGN THINKING, 2021).

El proceso de esta metodología se compone de cinco etapas y es iterativo, ya que está compuesto para abordar problemas complejos de definir y resolver. Estas etapas son: Empatía, definición, ideación, prototipado y testeo, como se muestra en la figura 16.

Figura 16.

Etapas del design Thinking.



Nota: Tomado de designthinking.es

El seguimiento de estas etapas no tiene que ser obligatoriamente consecutivo, se pueden saltar etapas y dar pasos hacia atrás o adelante, según la necesidad del proceso. Se muestra una descripción detallada de las fases en la tabla 15.

Tabla 15.

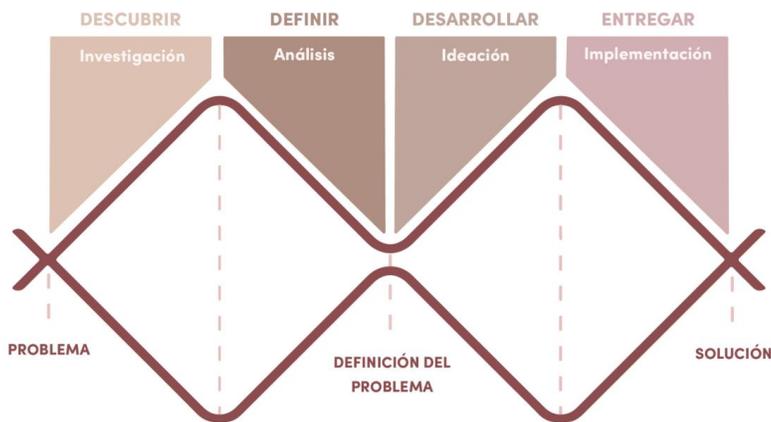
Descripción de las etapas del Design Thinking.

Fase	Descripción
Empatía	El proceso inicia con una profunda comprensión de las necesidades de los usuarios y de su entorno. Se debe ser capaz de ponerse en la piel de clientes, empleados y personas en general para poder dar soluciones consecuentes con sus realidades.
Definición	Se debe filtrar la información recopilada durante la fase de empatía y seleccionar lo que realmente aporta valor. Se identifican problemas cuyas soluciones son clave para la obtención de un resultado innovador.

Ideación	Tiene como objetivo la generación de una gran cantidad de opciones. No se debe seleccionar la primera idea que venga a la mente, sino que se hace un pensamiento expansivo eliminando juicios de valor.
Prototipado	En esta fase es donde las ideas se vuelven realidad. Mediante la construcción de prototipos, las ideas se vuelven palpables y ayudan a visualizar posibles soluciones. También es necesario revisar las cosas que se puedan mejorar, refinar o cambiar antes del resultado final.
Testeo	En esta fase se prueban los prototipos con los usuarios implicados en la solución desarrollada. Se identifican mejoras significativas, fallos a resolver, posibles carencias y se evoluciona la idea hasta convertirla en la solución esperada.

Nota: Tomado de designthinking.es

7.2.4.2 Doble Diamante. El modelo de Doble Diamante o Double Diamond, es una metodología para encontrar soluciones a problemas complejos que respondan a las necesidades de las personas y sirve para aportar la perspectiva del consumidor y verificar si las necesidades del usuario están siendo cubiertas. Se representa a través de un mapa visual simple, que se divide en cuatro fases consecutivas y lineales, pero que pueden tener digresiones (Infinitia Research, 2021). Los pasos se engloban en dos diamantes o rombos. El primer diamante engloba las etapas de descubrimiento y definición y sirve para entender el problema en vez de asumirlo. El segundo diamante incluye las fases de desarrollo y entrega, y se proporcionan las soluciones al problema a través del codiseño, prueba e iteración (Design Council, 2015). Estas etapas se pueden visualizar en la figura 17.

Figura 17.*Etapas del doble diamante.**Nota:* Tomado de Design Council.

El doble diamante transmite un proceso de diseño y representa un proceso de exploración del tema de manera más profunda a través de un pensamiento divergente, para luego tomar una acción focalizada mediante un pensamiento convergente (La Hacienda Studio, 2021). La descripción de las fases se muestra en la tabla 16.

Tabla 16.*Descripción de las etapas del doble diamante*

Fase	Descripción
Descubrir	Es el inicio del primer diamante, y ayuda a comprender, en vez de solamente asumir, el problema real. Implica interactuar de forma profunda con los usuarios afectados por los problemas a solucionar.
Definir	Mediante la información recopilada en la primera fase, se define el desafío a través de una perspectiva diferente, y se define el camino a seguir.
Desarrollar	El segundo diamante promueve dar diferentes respuestas al problema

	definido, buscando otras perspectivas y co-diseñando con una variedad de personas distintas.
Entregar	Se prueban diferentes soluciones a pequeña escala, se descartan las que no funcionan y se mejoran las soluciones escogidas.

Nota: Tomado de Design Council.

7.2.4.3 CDIO 2.0. La iniciativa CDIO es un marco educativo innovador para capacitar y formar a la próxima generación de ingenieros. Proporciona una metodología enfatizada en los fundamentos de ingeniería establecidos en el contexto de Concebir-Diseñar-Implementar-Operar sistemas y productos en el mundo real (CDIO, 2021). Las actividades de enseñanza y aprendizaje en el marco CDIO se centran en la participación directa de los alumnos en tareas de diseño específicas, participación activa en talleres y tareas grupales en base a proyectos y recopilación de retroalimentaciones de profesores. Desde su formación, más de 150 instituciones educativas se han sumado a esta iniciativa, con la visión de que los profesionales en ingeniería puedan crear sistemas y productos de valor agregado (Crawley et. al. 2014). El CDIO se centra en el pensamiento crítico, la gestión del conocimiento, métodos creativos, trabajo en equipo, comunicación, diseño e implementación de los sistemas operativos en un contexto de ingeniería en el mundo real (Dos Santos & Benneworth, 2019). Las cuatro etapas de este modelo se describen en la tabla 17.

Tabla 17.

Etapas del CDIO.

Etapas	Descripción
Concebir	Se definen las necesidades del cliente, teniendo en cuenta la tecnología, regulaciones y estrategia empresarial. Se desarrollan los

	conceptos, técnicas y planes de negocio.
Diseñar	Se crea el diseño utilizando dibujos, planos y algoritmos que describen lo que se implementará en el futuro.
Implementar	Se produce la transformación del diseño en el producto, incluida la fabricación, codificación, pruebas y validación.
Operar	Se usa el producto implementado para entregar el valor deseado, incluido el mantenimiento, evolución y la retirada del sistema.

Nota: Tomado de www.CDIO.org

La iniciativa CDIO debe verse como un marco para reformar la educación en ingeniería. Abarca doce estándares para describir un programa CDIO, los cuales están destinados a apoyar la transición de un programa educativo hacia este modelo (Bertoni, 2019). El objetivo principal de estos estándares es servir como una guía para la evaluación de programas educativos, crear puntos de referencia y proporcionar una base para la mejora continua. Estos fueron adoptados en el 2004, sin embargo, entre 2016 y 2020 se produjo una actualización de los estándares en lo que se conoce como CDIO 2.0. Siete de estos doce estándares se consideran esenciales, porque distinguen los programas CDIO de otras iniciativas de reforma educativa, y cinco son suplementarios que enriquecen significativamente el programa y reflejan las mejores prácticas en la educación de ingeniería (CDIO, 2021). Los estándares se describen en la tabla 19.

Tabla 18.

Estándares del modelo CDIO 2.0.

Estándar	Descripción
Contexto	El desarrollo y la implementación del ciclo de vida de productos, procesos y sistemas, son el contexto para la educación en ingeniería.
Resultados del aprendizaje	Resultados de aprendizaje específicos y detallados para habilidades personales e interpersonales, y de construcción de

	productos, procesos y sistemas, así como conocimientos disciplinarios, consistentes con los objetivos y validados por las partes interesadas del programa.
Plan de estudios integrado	Plan de estudios diseñado con cursos disciplinarios que se apoyan mutuamente, con un plan explícito para integrar habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas.
Introducción a la ingeniería	Un curso de introducción que proporciona el marco para la práctica de la ingeniería en la construcción de productos, procesos y sistemas, introduciendo las habilidades interpersonales esenciales.
Experiencias de diseño e implementación	Plan de estudios que incluye dos o más experiencias de diseño e implementación de nivel básico y avanzado.
Espacios de trabajo de ingeniería	Espacios de trabajo de ingeniería y laboratorios que fomentan el aprendizaje práctico de la construcción de productos, procesos y sistemas, el conocimiento disciplinario y el aprendizaje social.
Experiencias de aprendizaje integradas	Conducen a la adquisición de conocimientos disciplinarios, así como habilidades personales e interpersonales, y de construcción de productos, procesos y sistemas.
Aprendizaje activo	Enseñanza y aprendizaje basados en métodos activos de aprendizaje experiencial.
Mejora de la competencia del profesorado	Acciones que mejoran la competencia del profesorado en habilidades personales e interpersonales, y de construcción de productos, procesos y sistemas.
Mejora de la competencia docente del profesorado	Acciones que mejoran la competencia del profesorado al proporcionar experiencias de aprendizaje integradas, al usar métodos activos de aprendizaje experiencial y evaluar el aprendizaje de los estudiantes.
Evaluación del aprendizaje	Evaluación del aprendizaje de los estudiantes en habilidades personales e interpersonales, y de construcción de productos,

Evaluación del programa	procesos y sistemas, así como en conocimientos disciplinarios. Un sistema que evalúa los programas contra estos doce estándares y proporciona retroalimentación a los estudiantes, profesores y otras partes interesadas con el propósito de mejorar continuamente.
--------------------------------	--

Nota: Tomado de www.CDIO.org

7.2.5 Interacción Industria - Universidad

En la actualidad, la interacción entre las empresas, sociedad y universidades es cada vez más común. Las presiones del mercado y la disminución de presupuesto gubernamental para ciencia y tecnología en muchos países han dado lugar a un cambio importante en las expectativas de inversiones en innovación. La tendencia actual es una colaboración de investigación corporativa y sostenida entre empresas y centros académicos que ha cambiado el equilibrio entre los roles de la academia y la industria (Cross & McConnell, 2017). Perkmann identificó varios tipos de interacciones, cada una con un distinto nivel de relación, y que se están volviendo una tendencia en el ámbito académico. Primero, se encuentran los contactos informales entre investigadores universitarios y empleados industriales, donde estudiantes de maestría o doctorado son contratados como empleados a tiempo parcial (Perkmann, 2015). Los proyectos de investigación donde las empresas y universidades trabajan conjuntamente son cada vez más comunes, y el interés principal puede estar en la interacción entre los empleados y los estudiantes, o centrado exclusivamente en los resultados, en cuyo caso las empresas prefieren hacer una investigación por contrato. Los servicios de consultoría, en donde los estudiantes e investigadores universitarios reciben honorarios a cambio de asesorías, es otro tipo de creciente interacción relacionada (Brochner & Lagerqvist, 2016). Sin embargo, la relación entre las empresas y las universidades no solamente se limita a contrataciones parciales o asesorías. En los

últimos años, ha ido creciendo la inversión en laboratorios comunes que son administrados de manera conjunta, y la participación de la industria en cursos de educación continua y publicaciones científicas se ha multiplicado. En esta revisión de literatura, se identificó una tendencia predominante en la interacción entre industrias y universidades, que ha ido creciendo recientemente y se ha implementado en varias de las mejores universidades del mundo: Los barrios de innovación.

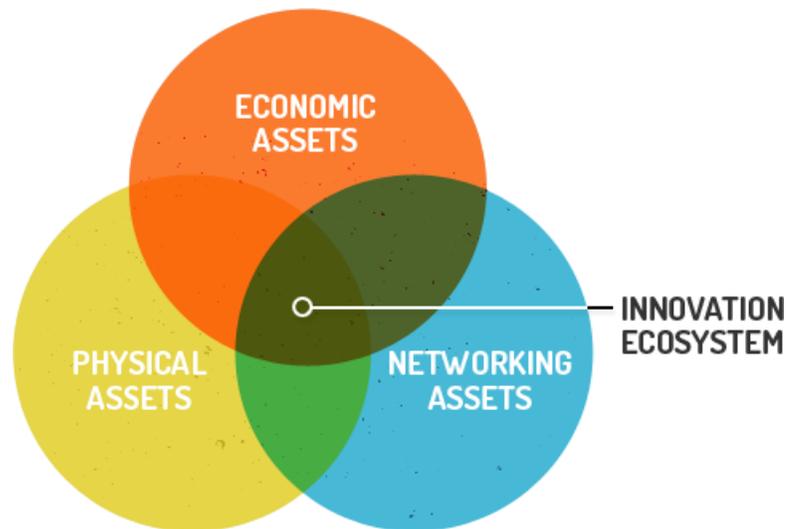
7.2.5.1 Barrios de innovación. Los barrios de innovación, o Innovation Districts o Innovation Neighborhoods (IN), se definen como un área geográfica centrada en el mercado donde una institución académica y empresas se agrupan para conectarse con incubadoras de empresas, nuevas empresas y aceleradoras (Cross & McConnell, 2017). Son la manifestación de las tendencias en preferencias de ubicación de las personas y empresas, ya que las instituciones, empresas y trabajadores creativos prefieren una proximidad donde puedan transferir de forma más rápida y fluida las ideas y el conocimiento. Los barrios de innovación tienen el potencial de impulsar un desarrollo económico inclusivo, productivo y sostenible, proporcionando una base sólida para la creación y expansión de empresas y puestos de trabajo, a través de la inventiva y producción de nuevos descubrimientos para el mercado (Katz & Wagner, 2014).

Los IN constituyen la combinación definitiva entre emprendedores e instituciones educativas y contienen activos económicos, activos físicos y activos de redes. Los activos físicos son los espacios privados y públicos, diseñados y organizados para estimular nuevos niveles de conectividad, innovación y colaboración. Los activos económicos son las empresas y organizaciones que impulsan y apoyan un entorno rico en innovación. Por su parte, los activos de redes son las relaciones entre los distintos actores, como individuos, empresas e instituciones quienes generan y aceleran el avance de ideas. Cuando estos tres activos se combinan con una

cultura de apoyo y toma de riesgos, se crea un ecosistema de innovación, la cual es una relación entre personas y empresas que facilita la generación de ideas y acelera la comercialización (Brookings, 2021). Esta relación se puede ver en la figura 17.

Figura 18.

Activos en los barrios de innovación.



Nota: Tomado de brookings.edu

Uno de los mejores ejemplos de IN es Tech Square, el principal barrio de innovación de Georgia Tech. Tech Square es un área revitalizada de Midtown, Atlanta en el extremo este del campus. Ahora alberga más de 50 empresas emergentes, múltiples centros de innovación corporativa, la Facultad de Negocios y oficinas de desarrollo económico del gobierno federal, estatal y municipal. El enfoque de mercado de Tech Square IN es la movilidad, la analítica y el big data. Dos barrios de innovación más recientes son una pista de 12 acres en el suroeste del campus donde el enfoque está en la energía y la biomedicina y el borde noroeste del campus donde el enfoque está en la fabricación y la robótica (Cross & McConnell, 2017).

7.2.6 Educación 4.0

La educación 4.0 es la aplicación de las herramientas tecnológicas de la información y comunicación TIC, y la generación de nuevas tecnologías para preparar personas que se adapten más fácilmente a los cambios que trae la cuarta revolución industrial. Su principal objetivo es formar a los futuros profesionales para que tengan las capacidades necesarias de incorporarse a la nueva realidad de la industria, basada en las tecnologías digitales. La educación ha evolucionado de mantener una sola dirección (educación 1.0) a ser bidireccional (2.0), para luego ser un aprendizaje autodirigido (3.0) y convertirse en una educación basada en las competencias. (Instituto Politécnico Nacional de México, 2021). Esta evolución se puede observar en la figura 19.

Figura 19.

Evolución en la educación.



Nota: Tomado de: Instituto Politécnico Nacional de México.

Hernández, Escobar & Menéndez (2019), identificaron nueve tendencias en la aplicación de la educación 4.0:

1. El aprendizaje se debe llevar a cabo en cualquier lugar y momento.
2. Los estudiantes deben aprender con una combinación de herramientas, programas y técnicas de su preferencia.

3. Las herramientas de estudio se deben adaptar al estilo de aprendizaje de cada estudiante.
4. Los alumnos deberán asumir su propia capacitación, y los profesores tendrán el rol de mentores.
5. Los estudiantes aprenderán con actividades prácticas como pasantías y proyectos de colaboración.
6. Los estudiantes deben estar más organizados y administrar mejor el tiempo para completar las tareas en un menor lapso de tiempo.
7. Basados en sus intereses, los estudiantes diseñarán sus propios planes de estudio.
8. Las evaluaciones se basarán en resultados y no en exámenes.
9. La interpretación y análisis de datos será una competencia clave incluida en todos los planes de estudio.

7.2.6.1 Programas educación 4.0. La cuarta revolución industrial exige una enseñanza multidisciplinaria acorde a las tendencias de la industria 4.0. Esta visión requiere una reevaluación de los programas de estudio de ingeniería para que coincida con las necesidades de competencias de los futuros profesionales. En España, la Comunidad autónoma de Madrid incluyó el tema de tecnología, programación y robótica para la educación secundaria a partir del año 2016. Además, Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Rumania han anunciado inversiones para la implementación de la robótica en la educación (Vega, 2018).

En línea con la principal mega tendencia en la industria, la enseñanza de sistemas ciberfísicos (CPS) está cobrando impulso. Cada vez más universidades están incorporando el tema a través de tres enfoques: Ofrecer formación continua general en CPS a personas de diferentes

campos industriales; Formación de CPS a nivel de doctorado en campos industriales específicos; y la incorporación de CPS como un tema de estudio en los planes de estudio de ingeniería (Hernández et. al. 2019).

Algunas universidades que ya incorporaron los CPS en sus programas se muestran en la tabla 19.

Tabla 19.

Nuevos programas de CPS en el mundo.

Institución educativa	Programa
Vanderbilt School of Engineering	Maestría en CPS
Universidad de Lyon	Máster en CPS y sistemas sociales
Universidad Tecnológica de Delf	Doctorado en CPS
Universidad Nacional de Australia	Doctorado en diseño y análisis de CPS
Universidad Nacional Japonesa	Doctorado en inteligencia CPS

Además de los sistemas ciber físicos, se están generando otros programas educativos en línea con la educación 4.0. El Instituto de Tecnología de Massachusetts desarrolló el programa Makerlodge, que enseña a estudiantes de primer año de pregrado a manejar tecnologías como impresoras 3D, cortadoras láser, herramientas manuales, entre otros, y después de completado el programa, continúan trabajando sus habilidades prácticas a través de Makerspaces distribuidos por el campus. También lanzaron el programa de fabricación inteligente, dirigido a capacitar a las personas interesadas en implementar la industria 4.0 en sus organizaciones (MIT, 2021). Otros programas educativos implementados de la educación 4.0 son: programas de manufactura virtual, maestría en análisis de datos y ciencia de la decisión, administración de tecnología de automatización, liderazgo en operaciones globales y talleres de ciencia, tecnología y política.

8. Conclusiones

- La cuarta revolución industrial y la implementación de la industria 4.0 exige habilidades interdisciplinarias, enfocadas en la digitalización de la industria. Los conocimientos en tecnologías clave, como el big data, computación en la nube o fabricación aditiva ya no se pueden considerar de otras ramas distintas a la ingeniería industrial, como la ingeniería de sistemas. El rápido avance tecnológico exige que el futuro ingeniero industrial adquiera conocimientos sobre estas tecnologías clave, así como de la administración de las tendencias de la industria, como los sistemas ciberfísicos. Muchas universidades del mundo ya están implementando capacitaciones y programas académicos enfocados a estas tendencias, basadas en la digitalización.
- Las necesidades que la industria 4.0 ha generado en la educación de ingeniería ha traído cambios en las metodologías de aprendizaje. El papel de los docentes está cambiando hacia un rol de mentoría, haciendo un acompañamiento a las labores de autoaprendizaje y autoevaluación del estudiante, cuyas competencias no se miden a través de los clásicos exámenes con calificaciones, sino con métodos que prueben la absorción de conocimiento y las competencias adquiridas. Los planes de estudio se están volviendo más dinámicos, al ser diseñados por el propio estudiante según sus necesidades de formación, y teniendo como base algunas habilidades clave como el análisis de datos, administración y toma de decisiones.
- La interacción entre la industria y las universidades es cada vez más notoria. La creación de espacios conjuntos que fomentan la creatividad e innovación y que permite una interacción entre estudiantes, empresarios y trabajadores ha ido creciendo de forma vertiginosa. Los Makerspaces o barrios de innovación son las principales tendencias en

este campo, y ha estrechado la relación entre la academia y las empresas, trayendo múltiples beneficios para ambas partes, como mejor preparación, experiencia y conocimiento de potenciales futuros lugares de trabajo para el estudiantado. Así mismo, servicios de consultoría, trabajos a tiempo parcial, pasantías de investigación y proyectos conjuntos son cada vez más comunes en la actualidad.

- Las tendencias de innovación de hace algunos años han ido evolucionando y expandiéndose de forma progresiva. Un ejemplo es el internet de las cosas, que se ha ramificado hacia nuevas tendencias como el internet industrial de las cosas, el internet de las cosas robóticas y el internet de los servicios. La fabricación integrada es otra tendencia que se ha ido ampliando cada vez más, y ha ido generando nuevos conceptos como la fabricación extremo a extremo o la arquitectura empresarial. Esto muestra que los cambios en la industria son más dinámicos y acelerados, y, por lo tanto, se debe prestar especial atención y hacer estudios sobre las nuevas disrupciones que van surgiendo. Mantenerse al día y conocer los cambios que trae la era digital es vital para la que la EEIE pueda formar los profesionales líderes en la industria del mañana.

Referencias Bibliográficas

- ABB (2021). Obtenido de: <https://new.abb.com/south-america>
- AIRBUS (2021). Obtenido de: <https://www.airbus.com/>
- Akbar, F., Wadood, F., Talib, A. & Nasser, S. A conceptual framework of industrial revolution 4.0 and entrepreneurial orientation meditation effect of innovation on firm performance: A malaysian perspective. Universidad Tun Hussein Onn Malaysia.
- Amazon Web Services (2021). Machine Learning en AWS. Obtenido de: <https://aws.amazon.com/es/machine-learning/>
- Arimetrics (2021). Obtenido de: <https://www.arimetrics.com/glosario-digital/twitter>
- Asociación para el Progreso de la Dirección APD (2021). Lean Manufacturing: ¿Qué es y cuáles son sus principios? Obtenido de: <https://www.apd.es/lean-manufacturing-que-es/>
- Australian Education Council (2021). Obtenido de: <http://www.educationcouncil.edu.au/>
- Bertoni, A. (2019). Introducing value driven design in engineering education teaching: the use of value models in preliminary design. Revista Internacional de Educación en Tecnología y Diseño.
- Bertoni, M & Bertoni, A. (2019). Measuring experiential learning an approach based on lessons learned mapping. Instituto de tecnología Blekinge.
- Brochner, J. & Lagerqvist, O. (2016). De las ideas a la innovación constructiva: empresas y universidades colaborando, Economía de la Construcción y Edificación.
- Brookings (2021). El auge de los distritos de innovación. Obtenido de: <https://www.brookings.edu/essay/rise-of-innovation-districts/>
- Cantú, F., Galeano, N., Garrido, L., Terashima, H. & Brena, R. (2019). An artificial intelligence educational strategy for the digital transformation. International Journal on Interactive Design and Manufacturing. Obtenido de: [An artificial intelligence educational strategy for the digital transformation | SpringerLink](#)
- Caro, A. (2008). Revisiones sistemáticas de literatura. Universidad del Bío-Bío Chillán, Chile. Obtenido de: <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/182/presentacion/Presentaci%C3%B3n-ColoquioUBB1.pdf>
- CDIO (2021). Conceive Design Implement Operate. Obtenido de: <http://cdio.org/>

- Centro de Desarrollo de la Docencia (2018). Aprendizaje basado en desafíos. Obtenido de: https://cdd.udd.cl/files/2018/10/aprendizaje_basado_desafios.pdf
- Chen, Y. (2017). Integrated and intelligent manufacturing perspectives and enablers.
- Clarivate Analytics (2021). Obtenido de: https://images.webofknowledge.com/WOKRS523R4/help/es_LA/WOK/hs_search_operators.html
- Crawley, EF, Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, DR y Edström, K. (2014). Repensar la ingeniería y su educación: el enfoque CDIO.
- Cross, S. & McConnell, D. (2017). How a research university supports university-industry collaboration. 2017 IEEE Technology & Engineering Management Conference.
- Digital Guide IONOS (2021). Comunicación machine to machine (M2M): Definición, propiedades y ventajas. Obtenido de: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-la-comunicacion-machine-to-machine-m2m/>
- Dos Santos, E. & Benneworth, P. (2019). Makerspace for skills development in the industry 4.0 era. Brazilian Journal of Operations and Production Management.
- Fernández, L. (2006). ¿Cómo analizar datos cualitativos?. Universitat de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació. Obtenido de: <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/analisis-datos-cualitativos.pdf>
- Fractal (2021). La integración de extremo a extremo. Obtenido de: <https://www.fractal.com/es/blog/la-integracion-de-extremo-a-extremo>
- Fundación española para la ciencia y la tecnología FECYT (2016). Recursos científicos: Scopus. Recuperado de: <https://www.recursoscientificos.fecyt.es/licencias/productos-contratados/scopus>
- Garay, C., Rodríguez, E. & Salinas, D. (2019). Experiential learning at Lean-Thinking-Learning Space. Revista Internacional de Diseño y Fabricación Interactivos. Obtenido de: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00578-3>
- Germany Trade and Invest (2021). Obtenido de: <https://www.gtai.de/gtai-en/welcome-es#>
- Goncharov, V., Nesmeyano, E., Kolosova, O., Arutyunyan, V. & Ivashova, V. (2019). Analysis of the modern science and technology in the context of the concept of CDIO. Journal of Physics: Conference Series. Obtenido de: doi:10.1088/1742-6596/1353/1/012135

- Graduate School of Business (2021). ¿En qué consiste el Lean Manufacturing?. Obtenido de: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2015/08/consiste-lean-manufacturing/>
- Grochocki, L., Guimaraes, J., Prata, A., & Oliveira, J. (2017). Engineering and development in Brazil, challenges and prospects: a new perspective on the topic. Obtenido de: [Innovation & Management Review | Emerald Insight](#)
- Hernández, M., Escobar, C. & Menéndez, R. (2019). Engineering education for smart 4.0 technology. A review.
- Hoyland, C., K. Adams, A. Tolk y L. Xu. (2014). "La metodología RQ-tech: un nuevo paradigma para la conceptualización estratégica Arquitecturas empresariales." Revista de análisis de gestión. Pag: 55-77.
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. (2013). Academia Nacional de Ciencias e Ingeniería. Recomendaciones para implementar la iniciativa estratégica INDUSTRIE 4.0: Informe final del Grupo de Trabajo Industrie 4.0. Munich: Academia Nacional de Ciencias e Ingeniería.
- Kanth, R., Laakso, M., Nevalainen, P. & Heikkonen J. (2018). Future educational technology with big data and learning analytics.
- Katz, B. & Wagner J. (2014). The rise of innovation districts: A new geography of innovation in America. Brookings Metropolitan Policy Program.
- Keiding, V. (2019). Enseñanza de innovación a estudiantes de ingeniería: una propuesta para un modelo de proceso operativo. 47a Conferencia Anual de SEFI.
- Khan, F., Wadood, F. & Nasser, S. (2021). A conceptual framework of industrial revolution 4.0 and entrepreneurial orientation: mediation effect of innovation on firm performance: a malaysian perspective. Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit, Michigan, USA.
- La hacienda Studio (2021). Modelo del diseño del doble diamante. Obtenido de: <https://medium.com/la-hacienda-studio/modelo-de-dise%C3%B1o-del-doble-diamante-2625d9b0b3af>
- Lennart, A. (2020). Digital twin technology for smart manufacturing and industry 4.0: A bibliometric analysis of the intellectual structure of the research. Universidad de Hamburgo.

- Liisa, S. & Jounela, J. (2018). Future automation systems in context of process systems and minerals engineering. Universidad Aalto, Kemistintie.
- Manser, K., Hillebrand, B., Driessen, P., Ziggers, G. & Bloemer, J. (2015). Activity sets in multi-organizational ecologies: a project level perspective on sustainable energy innovations. Institute for Management Research, Radboud University Nijmegen.
- Massachusetts Institute of Technology (2021). Obtenido de: <https://www.mit.edu/>
- Masso J. (2020). Proceso de revisión sistemática. Universidad cooperativa de Colombia. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/GAlbertoHoyos/proceso-de-revision-sistemica>
- Microsoft (2021). Azure Spatial Anchors. Obtenido de: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/spatial-anchors/spatial-anchor-faq>
- Microsoft Ignite (2021). Internet de las cosas robóticas: Impulso de IOT, MR y la robótica hacia la industria 4.0.
- Ministerio de tecnologías de la información y comunicaciones (2013). Arquitectura empresarial: El camino hacia un gobierno integrado. Obtenido de: https://mintic.gov.co/gestionti/615/articles-5322_Revista_pdf.pdf
- Mourtzis, D., Doukas, M. & Skrepetos, T. (2015). A knowledge-enriched problema solving methodology for the design phase of Manufacturing equipment. CIRP 25th Design Conference Innovative Product Creation.
- Muller, J. (2017). Industry 4.0 for integration strategies for SMEs. Universidad de Erlangen - Nurnberg, cátedra de gestión industrial.
- National Science Fundation (2021). CPS. Obtenido de: <https://www.nsf.gov/>
- Ngaile, F., Wang, J. & Gau, J. (2013). Challenges in teaching modern manufacturing technologies. Universidad Estatal de Carolina del Norte
- Neumann, P., Winkelhaus, S., Grosse, E. & Glock, C. (2020). Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development. International Journal of Production Economics. Obtenido de: [Industry 4.0 and the human factor – A systems framework and analysis methodology for successful development - ScienceDirect](#)

- Oliver, K., Ehrman, J. & Marasco, C. (2018). Vigilante Innovation case study on the development of student skills through a team-based design process and environment. *Revista Internacional de Educación STEM*.
- Palao, F. (2017). 90 minutos de innovación: organizaciones exponenciales. Barcelona, 21 de junio de 2017. Obtenido de: https://www.youtube.com/watch?v=VKz4mdOC9_U
- Ozcan, S., Boye, D, Arsenyan, J. & Trott, P. (2020). A scientometric exploration of crowdsourcing: research clusters and applications. *IEEE Transactions on engineering management*.
- Peralta, G. (2019). Innovation framework. Obtenido de: <https://japeraltag.medium.com/qu%C3%A9-es-un-modelo-de-innovaci%C3%B3n-innovation-framework-dce2c12099c>
- Polanin, J., Pigott, T., Espelage, D. & Grotper, J. (2019). Best practice guidelines for abstract screening large-evidence systematic reviews and meta-analyses. Obtenido de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jrsm.1354>
- Ramírez, P., Gómez, E. & Sebastián, M. (2018). Delphi prospecton on additive manufacturing in 2030. Implications for education and employment in Spain materials. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Ramos, C. (2017). La pregunta de investigación. *Universidad Pontificia Católica del Ecuador*. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/305220094_La_Pregunta_de_Investigacion
- Red de Educación Maker (2021). ¿Qué es la educación Maker?. Obtenido de: <https://www.educacionmaker.org/que-es-la-educacion-maker/>
- SAS (2021). Aprendizaje automático. ¿Qué es y por qué es importante?. Obtenido de: https://www.sas.com/es_co/insights/analytics/machine-learning.html
- Scilimati, V., Petitti, A., Boccadoro, P., Colella, R., Di Paola, D., Milella, A. & Grieco, L.(2017). Industrial Internet of things at work. A case study analysis in robotic-aided environmental monitoring.
- Scopus (2021). Obtenido de: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2150/search/form.uri?display=advanced>
- Sen, C., Sonay, Z. & Ahmet, S. (2019). STEM skills in the 21st century education.

- Singularity University (2020).
- Shang, C. & You, F. (2019). Data analytics and machine Learning for Smart process Manufacturing: recent advances and perspectives in the big data era. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.019>
- SyBBURE Searle (2019). Vigilante Innovation. Obtenido de: <https://vigilanteinnovation.com/>
- Tecnológico de Monterrey (2021). Aprendizaje colaborativo: Técnicas didácticas.
- Tecnológico de Monterrey (2021). Modelo Tec21. Obtenido de: <https://tec.mx/es/modelo-tec21>
- Teletov, A., Nagorny, I. & Nikonets, M. (2017). Innovate approaches in marketing studies of industrial and technology production..
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2009). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. Obtenido de: <https://www.cebma.org/wp-content/uploads/Tranfield-et-al-Towards-a-Methodology-for-Developing-Evidence-Informed-Management.pdf>
- Twitter (2021). Cómo crear y usar Hashtags. Obtenido de: <https://business.twitter.com/es/blog/how-to-create-and-use-hashtags.html>
- Universidad Industrial de Santander (2020). Biblioteca virtual. Web of Science
- Universidad Internacional de Valencia (2021). Definición y beneficios del aprendizaje experiencial. Obtenido de: <https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/definicion-y-beneficios-del-aprendizaje-experiencial>
- Universidad Internacional de Valencia (2021). Machine 2 machine e Internet Of Things. Obtenido de: www.universidadviu.es/son-m2m-e-iot-lo-mismo/
- Universidad Nacional de Colombia (2021). Nvivo 11. Obtenido de: <http://www.fce.unal.edu.co/unidad-de-informatica/proyectos-de-estudio/ejes-tematicos-transversales/estadistica-descriptiva-y-analisis-cualitativo/1362-nvivo-spss.html>
- Vashchenko, M., Taraniuk, L., Danko, Y. & Taraniuk, K. (2018). Assesment of the technological readiness of the countries of the world for the radical innovations. Marketing and Management of Innovations. Obtenido de: <http://doi.org/10.21272/mmi.2018.4-08>
- Vega, J. (2018). Marco educativo utilizando robots con visión para la enseñanza constructivista de robótica a estudiantes preuniversitarios. Universidad de Alicante, Alicante.
- Weber, A. (2016). "Industria 4.0: Mitos vs. Realidad."

Xu, L., Xu, E & Li, L. (2018). Industry 4.0 state of art and future trends. *International Journal of Production Research*. Obtenido de: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>