



**Universidad de Valladolid**



**Escuela de Ingenierías Industriales**



# **Learning Factories en la formación técnico-industrial: una revisión sistemática de la literatura**

Autora:  
DELANIE GINELLE RAMÍREZ GUERRA

Tutor:  
JUAN LUIS ELORDUY GONZÁLEZ

JULIO 2025







*“A mi mamá, por enseñarme a luchar por  
mis sueños”*



# AGRADECIMIENTOS

---

A la Universidad de Valladolid, la unidad de Relaciones Internacionales, y el Banco Santander por otorgarme la beca STEM WOMEN, dándome así la valiosa oportunidad de cursar el Máster en Logística.

Al Dr. Ángel Manuel Gento, coordinador del máster, por su constante apoyo y orientación durante todo el curso.

Al Dr. Juan Luis Elorduy, director de este trabajo de fin de máster, por su paciencia, dedicación, y por orientarme con claridad durante cada etapa de la realización de este trabajo.

A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento. En especial a mi mamá, por ser mi mayor ejemplo, gracias al que me he convertido en la persona que soy hoy.

A Gianluigi, por estar siempre a mi lado, por creer en mí y animarme en cada paso de este camino.

# RESUMEN

---

Las fábricas de aprendizaje son una metodología de enseñanza creciente en el campo de la ingeniería. Mediante estos entornos simulados de producción, participantes que pueden ser estudiantes, trabajadores o ambos, adquieren competencias técnicas y blandas alineadas con las necesidades actuales del mercado industrial. En este trabajo mediante una revisión sistemática de la literatura de 16 artículos siguiendo los lineamientos de la metodología PRISMA 2020, se abordan las características principales de las Learning Factories alrededor del mundo encontradas en la literatura. Aspectos como modalidad de la simulación, aplicación de la Industria 4.0, tecnologías utilizadas, entre otras son fueron presentadas y analizadas en la revisión. Se concluye que las fábricas de aprendizaje son una metodología pedagógica exitosa y adaptable, cuyo éxito depende en gran medida de la colaboración entre instituciones académicas y empresariales. Actualmente se alinean con tendencias como Industria 4.0 y Lean Manufacturing, su tipo de simulación principal es físico, y en su mayoría se dirigen a estudiantes.

Palabras clave: Fábrica de aprendizaje, Industria 4.0, ingeniería, revisión sistemática, simulación

# ABSTRACT

---

Learning factories are a growing teaching methodology in the field of engineering. Through these simulated production environments, participants, who may be students, workers, or both, acquire technical and soft skills aligned with the current needs of the industrial market. In this paper, through a systematic review following the guidelines of the PRISMA 2020 methodology, the main characteristics of Learning Factories around the world found in the literature are addressed. Aspects such as simulation modality, application of Industry 4.0, technologies used, among others, were presented and analyzed in the review. It is concluded that learning factories are a successful and adaptable pedagogical methodology, whose success depends largely on collaboration between academic and business institutions. They are currently aligned with trends such as Industry 4.0 and Lean Manufacturing, their main type of simulation is physical, and they are mostly aimed at students.

Keywords: Learning Factory, Industry 4.0, engineering, systematic review, simulation



# ÍNDICE

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>iii</b>
<b>Resumen</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Índice</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Motivación y justificación</i>	1
1.2 <i>Objetivos</i>	2
1.3 <i>Alcance</i>	4
1.4 <i>Estructura</i>	4
<b>2 Learning factories: concepto y evolución</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Orígenes y desarrollo histórico</i>	7
2.2 <i>Concepto de Learning Factory</i>	10
2.3 <i>Aplicación de la Industria 4.0 en las Learning Factories</i>	12
2.4 <i>Retos y oportunidades</i>	15
<b>3 Cómo hacer una revisión sistemática de la literatura</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Definición e importancia de las revisiones sistemáticas</i>	17
3.2 <i>Características</i>	18
3.3 <i>Fases de una revisión sistemática de la literatura</i>	18
3.3.1 <i>Formulación de la pregunta de investigación</i>	18
3.3.2 <i>Búsqueda de la literatura</i>	20
3.3.3 <i>Selección y evaluación de estudios</i>	23
3.3.4 <i>Análisis y síntesis</i>	24
3.4 <i>Metodología PRISMA 2020</i>	24
3.4.1 <i>Diagrama de flujo PRISMA 2020</i>	25
3.5 <i>Revisiones sistemáticas sobre Learning Factories</i>	26
<b>4 Metodología aplicada</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Formulación de la pregunta de investigación</i>	29
4.2 <i>Estrategia de búsqueda</i>	29
4.2.1 <i>Base de datos</i>	29
4.2.2 <i>Palabras clave y términos de búsqueda</i>	30
4.2.3 <i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	30
4.3 <i>Evaluación y selección</i>	32
4.3.1 <i>Criterios de inclusión:</i>	32

4.3.2	Criterios de exclusión	32
4.4	<i>Proceso de selección de artículos</i>	33
<b>5</b>	<b>Análisis de los artículos</b>	<b>35</b>
5.1	<i>Contexto</i>	35
5.1.1	Distribución geográfica de las LF	35
5.1.2	Público objetivo	37
5.2	<i>Intervención</i>	39
5.2.1	Tema de enseñanza	39
5.2.2	Modalidad (física, digital, híbrida)	43
5.3	<i>Mecanismo</i>	45
5.4	<i>Resultados</i>	46
<b>6</b>	<b>Estudio económico</b>	<b>50</b>
6.1	<i>Fases del trabajo</i>	50
6.2	<i>Costos del Proyecto</i>	51
6.3	<i>Cálculo de amortizaciones del equipo utilizado</i>	52
6.4	<i>Costes indirectos</i>	53
6.5	<i>Costos por fase</i>	54
6.5.1	Análisis preliminar	54
6.5.2	Cribado	54
6.5.3	Síntesis y extracción de datos	54
6.5.4	Maquetado y redacción del documento	55
6.6	<i>Cálculo del coste total</i>	55
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>56</b>
7.1	<i>Fortalezas, limitaciones y recomendaciones del estudio</i>	57
7.1.1	Fortalezas	57
7.1.2	Limitaciones y recomendaciones	57
7.2	<i>Líneas futuras de investigación</i>	57
<b>8</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Anexos</b>	<b>65</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1 Comparación del sistema dual alemán y las Learning Factories	8
Tabla 2.1 Características clave de Learning Factories. Fuente: Abele et al., 2015.	10
Tabla 4.1 Ejemplos de LF con objetivos de Industria 5.0. Fuente: Tana et al. (2023)	15
Tabla 3.1 Operadores booleanos y caracteres especiales en búsquedas de la literatura	22
Tabla 4.1 Criterios de inclusión en la búsqueda de la literatura	31
Tabla 5.1 Tecnologías utilizadas en las LF analizadas	45
Tabla 5.2 Metodología pedagógica	46
Tabla 5.3 Métodos de medición de la efectividad del aprendizaje en LF	47
Tabla 5.4 Competencias técnicas adquiridas después de la participación en LF	48
Tabla 5.5 Habilidades blandas adquiridas después de la participación en LF	49
Tabla 6.1 Horas y días efectivos anuales	51
Tabla 6.2 Semanas efectivas anuales	51
Tabla 6.3 Costos de la contratación del profesional	51
Tabla 6.3 Horas dedicadas por el personal	52
Tabla 6.3 Costo por fase	52
Tabla 6.6 Costos del equipo y software utilizados	53
Tabla 6.7 Amortización de los equipos y el software empleados	53
Tabla 6.8 Costes indirectos	53
Tabla 6.9 Costes Fase 1	54
Tabla 6.10 Costes Fase 2	54
Tabla 6.11 Costes Fase 3	54
Tabla 6.11 Costes Fase 4	55
Tabla 9.1 Artículos y autores de las Learning Factories estudiadas	65
Tabla 9.2 Síntesis de las Learning Factories estudiadas	66



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2.1. Desarrollo histórico de Learning Factories. Fuente: Abele et al., 2024.	7
Figura 2.2. Desarrollo histórico de enfoques de LF y el número de documentos indexados en Google Scholar relacionados con fábricas de aprendizaje y enseñanza. Fuente: Abele et al., 2017.	9
Figura 2.3. Cantidad de Learning Factories en Alemania. Fuente: Sudhoff, 2020.	9
Figura 2.4. Beneficios generados por la conexión facultad-industria-estudiantes que generan las LF. Fuente: Sorensen et al., 2022.	12
Figura 2.5. Categorías de competencias necesarias en una LF adaptada a la Industria 4.0. Adaptado de: Schallock et al., 2018.	13
Figura 2.6. Tecnologías de la Industria 4.0 más utilizadas en las Learning Factories.	14
Figura 3.1. Comparación de Journals – WoS vs Scopus. Fuente: Adaptado de Kapoor & Upadhyay, 2023.	20
Figura 3.2. Muestreo en revisiones sistemáticas de la literatura sobre gestión. Fuente: Gusenbauer & Gauster, 2024.	22
Figura 3.3. Filtro de áreas temáticas en Scopus	23
Figura 3.4. Diagrama de flujo PRISMA 2020. Fuente: Page et al., 2021	25
Figura 3.5. Diagrama de flujo PRISMA 2020 adaptado. Fuente: Page et al., 2021.	26
Figura 4.1. Palabras clave utilizadas en la búsqueda	30
Figura 4.2. Diagrama de flujo de la revisión sistemática	33
Figura 4.3. Síntesis de los datos extraídos de la literatura	34
Figura 5.1. Distribución geográfica de las LF por continente	35
Figura 5.2. Distribución geográfica de LF por país europeo	36
Figura 5.3. Concentración europea de LF	37
Figura 5.4. Público objetivo de las LF	38
Figura 5.5. Clasificación de LF por temas de enseñanza	39
Figura 5.8. Realidad virtual en la KIT Learning Factory. Fuente: Information Management in Engineering at KIT, 2024.	41
Figura 5.5. Modalidad de las LF	44
Figura 5.6. Gemelo virtual y su implementación en realidad virtual. Fuente: Fuertes et al., 2023.	44



# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Motivación y justificación

Actualmente, los retos a los que se enfrentan las empresas cada día han evolucionado. La demanda ya no es estática, sino que cambia constantemente. Por lo tanto, la adaptabilidad es una característica esencial que deben poseer las organizaciones para sobrevivir. Eventos de los últimos años, como pandemias, desastres naturales, y conflictos políticos, han demostrado la importancia de contar con sistemas adaptables que tengan la capacidad de responder a contextos de alta incertidumbre. En este entorno, las empresas requieren profesionales que no solo cuenten con competencias técnicas, sino que también se desenvuelvan en entorno colaborativos, con equipos interdisciplinarios, y con tecnología avanzada.

En este contexto, las instituciones académicas tienen la responsabilidad de formar profesionales capaces de lograr una integración dinámica en el mundo laboral. Sin embargo, los métodos tradicionales de enseñanza basados en la teoría no son suficientes para preparar a los estudiantes para entornos reales y dinámicos de producción. Por lo tanto, existe una necesidad de métodos de enseñanza más prácticos y orientados a la realidad del entorno laboral actual. Es así como las Learning Factories (LF), o Escuelas de Aprendizaje, han demostrado ser un método efectivo para preparar a estudiantes y trabajadores a las exigencias de hoy. Estas son espacios físicos o digitales donde se simulan procesos productivos para que los participantes los puedan comprender y experimentar.

La motivación personal para realizar una revisión sistemática de las Learning Factories, surge del aprendizaje obtenido por la participación en la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid. La Escuela Lean es una Learning Factory orientada a la enseñanza de la filosofía Lean, simulando la fabricación de un producto diseñado especialmente para esta finalidad. En este caso, a los estudiantes del Máster en Logística. Esta dinámica no solo facilitó la comprensión de los principios Lean, sino que también fomentó el trabajo en equipo, la toma de decisiones y la empatía organizacional. La Escuela Lean fue un apoyo para comprender de una forma aplicada y práctica los conceptos explicados teóricamente en clase. Como lo dice la frase “aprender haciendo”, de la filosofía Lean. Ver en tiempo real cómo funciona esta metodología es esencial para comprender sus bases.

Aunque es importante destacar que el enfoque de las Learning Factories no se limita al Lean Manufacturing. Existen diversos temas de enseñanza y aplicaciones, desde logística y automatización hasta Big Data e Internet de las cosas, entre otras. Diversos estudios recientes han explorado el potencial de las LF en estas áreas. En el sector logístico, Centea et al. (2020) describen la aplicación de RFID en una LF. Por otro lado, Cimini y Lagorio (2024) destacan su aplicabilidad en nuevas tendencias como lo son sostenibilidad e industria 5.0. Por su parte, Kang et al. (2024) presentan un estudio sobre una LF en Corea enfocada en la mejora de la productividad en la agricultura utilizando tecnologías de Internet de las cosas. Las habilidades más buscadas actualmente en las empresas son las enfocadas en tecnologías emergentes (Rasovska et al., 2022).

También el público objetivo de esta metodología puede ser diverso. Las empresas también las implementan para que sus trabajadores puedan mejorar la toma de decisiones y mejoras de procesos en un entorno simulado. Así, adquieren competencias necesarias para un entorno tan competitivo como es el actual, adaptándose a nuevas tecnologías y tendencias (Reining & Kauffeld, 2022). Según Hegedić et al. (2022), una de las mejores formas de introducir al operario a tecnologías de la industria 4.0 son las LF. A su vez, Padovano et al. (2024), proponen herramientas de realidad aumentada diseñadas pensando en el ser humano como centro, empoderando así al operador 5.0.

La Escuela Lean también es un ejemplo de cómo las LF también se utilizan en el entrenamiento a trabajadores. En una de las visitas a empresas realizadas en el Máster en Logística a un hospital de

Valladolid, se pudo observar la aplicación de uno de los métodos Lean en la logística de este. Algunos de sus trabajadores asistieron a la Escuela Lean de la Uva para adquirir estos conocimientos, mostrando así la utilidad de enseñanza con esta metodología.

Otro aspecto destacable de las LF es su capacidad para desarrollar habilidades blandas. Las competencias que buscan las empresas ya no solo se centran en aspectos técnicos, sino también en las habilidades blandas. Aunque no es el objetivo principal de las LF, los estudiantes desarrollan más ganas de aprender, al igual que una mejora en la forma de trabajar en equipo, y un aumento de la confianza en la aplicación de sus conocimientos, además de que abordan mejor las situaciones al estar frente a distintos desafíos (Abele et al., 2024).

En este sentido, los participantes ganan empatía organizacional. Al asumir el rol del operario, los participantes comprenden que el trabajo en una organización no es individual, sino el resultado de una conexión y colaboración entre departamentos. Desde los niveles operativos hasta la alta dirección deben conocer y estar alineados con el objetivo común y trabajar para conseguirlo. Y reconocer que cada uno es importante en la consecución de esta meta. Asimismo, esta experiencia permite evidenciar como muchas veces la falta de comunicación entre departamentos genera conflictos, diferencias y una tendencia a culpar a otros departamentos de los problemas. Al intercambiar de rol, los participantes observan los desafíos a los que se enfrentan los compañeros de otras áreas en el día a día, lo que genera más empatía y una organización colaborativa.

Otros de los beneficios de las LF es su adaptabilidad geográfica. Es decir, que pueden ser implementadas en cualquier parte del mundo. Quinn et al. (2022) detallan los desafíos al implementar una LF en una universidad irlandesa evidenciando que, a pesar de la influencia de diferentes contextos, la metodología se puede adaptar. Hay estudios que han recopilado y clasificado las LF existentes internacionalmente, sin embargo, datan de algunos años. Posteriormente, han surgido nuevas LF con nuevos enfoques, por lo que surge la necesidad de realizar una revisión sistemática actualizada que presente sus características.

Así, este trabajo tiene como objetivo ofrecer una visión integral del estado actual de las Learning Factories que se encuentran en la literatura, destacando su relevancia en entornos académicos e industriales. El estudio puede ser de utilidad también como un marco de referencia para universidades y empresas que estén interesadas en crear o implementar LF. A través de un análisis riguroso, se pretende contribuir al conocimiento existente y proporcionar una base para el desarrollo de investigaciones que respondan a los retos presentes y futuros.

## 1.2 Objetivos

El objetivo general de este proyecto es, a través de una revisión sistemática, conocer el estado actual y cantidad existente de las Learning Factories en el mundo, analizando sus características, y tipos de métodos de enseñanza.

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- **Comprender y presentar el concepto y evolución de las Learning Factories.**

Este objetivo tiene como finalidad la comprensión del lector sobre el significado de Learning Factory, además de explorar su origen, base teórica y evolución con el paso de los años. Se mostrará un recuento de la historia y evolución de las LF, el cual es esencial para comprender su concepto. Se hará una breve presentación del inicio, desde la primera LF surgida en Estados Unidos, para así poder avanzar progresivamente hasta llegar a los temas principales en los que se centran las mismas actualmente.

Además, se realizará un análisis de los eventos que han impulsado su desarrollo, como lo son la digitalización y la llegada de la industria 4.0. Y mostrar como iniciaron siendo iniciativas de instituciones educativas, a ser implementadas por empresas y redes internacionales de

investigación y formación.

Con esto, se busca establecer una base teórica para comprender la relevancia actual que posee la metodología, así como sus futuras aplicaciones e implicaciones, ya sea en universidades, empresas o investigaciones.

- **Detallar la metodología utilizada para llevar a cabo una revisión sistemática, estableciendo criterios de búsqueda, selección, y análisis de las distintas fuentes.**

Este objetivo tiene como propósito explicar de manera clara los pasos sistemáticos que se siguieron para llevar a cabo la revisión sistemática sobre las Learning Factories. Se detallarán las palabras clave y operadores booleanos utilizados en la base de datos Scopus, así como los filtros o criterios de búsqueda utilizados para minimizar la cantidad de documentos a analizar. Ejemplos de estos pueden ser año de publicación, idioma del artículo, entre otros.

Además, este objetivo contempla la organización, clasificación y análisis de la información, permitiendo así que otros investigadores u organizaciones puedan replicar el proceso para futuras investigaciones con la misma línea temática, y comprendan cómo se ha llegado a las conclusiones. Esto utilizando como guía la declaración PRISMA 2020, en la cual Page et al. (2021) brindan un marco estructurado para mejorar la transparencia en revisiones sistemáticas y científicas.

- **Comparar enfoques y modelos de Learning Factories, para conocer su cantidad, localización geográfica, tipo, enfoque, y digitalización.**

Tomando como base la información recopilada a través de la revisión bibliográfica, se tiene como finalidad realizar una comparación para brindar una visión global de la situación actual de las Learning Factories en el mundo. De esta forma se busca resaltar sus características en función de enfoque, localización geográfica, digitalización.

En primer lugar, se van a cuantificar las LF documentadas en las bases de datos antes mencionadas. Esto permitirá analizar el crecimiento que esta metodología ha tenido en los últimos años, además de su aplicación como herramienta en instituciones y organizaciones.

En segundo lugar, se analizará la presencia de LF en distintos países y continentes, con el fin de dar conclusiones sobre su predominio en ciertas regiones. Esta información es útil para conocer zonas de mayor implementación, y si eso tiene relación con la presencia de ciertas empresas o instituciones, y también para reconocer zonas donde todavía no se ha implementado.

Otro aspecto relevante por investigar es el tipo de LF, según su creación en entornos académicos o empresariales e industriales, o la combinación para beneficio de ambos. Esto permitirá las prioridades que tienen los distintos sectores y el público al que va dirigido principalmente estas aplicaciones.

Además, se clasificarán según su enfoque. Es decir, el tema en el que se busca formar a los participantes. Desde Lean, logística y automatización, hasta enfoques más sostenibles que han implementado esta metodología de acuerdo con las tendencias actuales.

Finalmente, se analizarán las LF según su nivel de digitalización. Hoy las LF también pueden ser aplicadas en entornos virtuales, utilizando realidad aumentada, simulación de procesos, gemelos digitales, entre otras. Y también, existen LF híbridas, que mantienen tanto la parte física la virtual, para una enseñanza más integral y completa.

- **Identificar buenas prácticas, retos y oportunidades de mejora**

Esta tarea es esencial para extraer de la literatura investigada, lecciones que otras personas e instituciones puedan aprender y aplicar en el futuro, fomentando así la mejora continua. Esto puede incluir colaboración, métodos de enseñanza exitosos, hasta tecnologías elegidas que han sido efectivas.

También, se analizarán los retos y dificultades que han experimentado las instituciones al mantener una LF. Esto puede abarcar problemas como falta de inversión, poca formación de los profesores en tecnologías actuales, entre otros factores. A partir de este análisis dual, se busca identificar oportunidades de mejora.

- **Detectar vacíos de investigación**

Este análisis se realizará prestando atención a los enfoques y regiones que se repitan con más frecuencia, con el fin de orientar a futuras investigaciones a áreas poco exploradas, que no hayan sido lo suficientemente representadas. Esto incluye la falta de estudios o LF en países en vías de desarrollo, o en ciertos temas de aprendizaje.

También estos vacíos se pueden deber al seguimiento escaso que tienen los estudios actuales, ya que se pueden centrar en la obtención de resultados a corto plazo, pero no en el desarrollo de habilidades tanto técnicas como aptitudes, a mediano y largo plazo.

La identificación de estos aspectos aportará valor a la bibliografía y, además, permitirá proponer líneas de investigación futuras, aportando nuevas perspectivas.

### **1.3 Alcance**

El presente estudio analizará únicamente a las Learning Factories de todo el mundo, que hayan sido documentadas en artículos científicos disponibles en la base de datos reconocida Scopus, publicados en revistas o literatura académica. Su clasificación será con base en el país de implementación, enfoque, origen (en empresas o universidades), y digitalización.

### **1.4 Estructura**

El presente trabajo está estructurado en 7 capítulos. Cada uno aborda un aspecto clave para la comprensión del tema de investigación, desde la perspectiva histórica, hasta la técnica y económica:

El primer capítulo establece una introducción sobre el origen de las Learning Factories, su importancia de estudio en el ámbito industrial y académico, destacando la necesidad de profundizar en el tema desde una perspectiva de investigación. Asimismo, se detallan los objetivos a cumplir del trabajo, el alcance de la investigación, y la estructura general del estudio, proporcionando al lector una idea general de cómo se desarrollará cada punto a lo largo del trabajo de fin de máster.

El Segundo capítulo recuenta los antecedentes y evolución de las Learning Factories, y explica sus conceptos clave. En esta sección se describe cómo y dónde surgió la metodología, el concepto de Learning Factory, su desarrollo en el tiempo, y cómo se ha adaptado a las necesidades actuales del mercado industrial como la Industria 4.0 y sus tecnologías. Además, se identifican retos y oportunidades encontrados en este análisis preliminar sobre las Learning Factories. Esto es fundamental para la comprensión del lector sobre las bases teóricas de la investigación.

El tercer capítulo consiste en explicar los pasos necesarios para realizar una revisión sistemática. Primero, se presenta la definición, así como su importancia y características principales. Posteriormente, se enumeran y desarrollan las fases de una revisión sistemática según Denyer y Tranfield (2009), figuras clave en la literatura sobre revisiones sistemáticas. Además, se introduce la metodología PRISMA 2020 y se explica según sus herramientas, los pasos necesarios para llevar a cabo una revisión sistemática exitosa. Por último, se mencionan algunas revisiones sistemáticas relacionadas con las Learning Factories, que se han realizado previamente. Así, se proporciona una base sólida para la estructuración de una revisión sistemática rigurosa y transparente.

En el cuarto capítulo se desglosa la metodología utilizada para realizar la revisión sistemática sobre las Learning Factories, siguiendo los pasos mencionados en el capítulo anterior, de PRISMA 2020. Dentro del

capítulo se establece la pregunta de investigación, así como los criterios de inclusión y exclusión utilizados para la inclusión de la documentación alineada con el objeto de estudio. También se explica la estrategia de búsqueda, la base de datos utilizada, y el proceso de selección de los artículos. Este capítulo garantiza la transparencia de la investigación y refuerza su validez científica.

El quinto capítulo profundiza en un análisis de los artículos seleccionados con el objetivo de la identificación de las principales características y tendencias de las Learning Factories a nivel global. Se da a conocer el número de Learning Factories documentadas en la literatura estudiada, su enfoque, digitalización, origen institucional, tecnologías implementadas, entre otros. Esta sección permite una perspectiva integral del estado actual de las Learning Factories y su contribución al desarrollo de competencias en entornos industriales.

El sexto capítulo es un estudio económico de la investigación, donde se detallan las fases que comprendió el proceso desde el análisis preliminar hasta la síntesis, extracción y análisis de datos, y los costos asociados a cada una de ellas. También se mencionan los costos directos e indirectos del estudio, incluyendo recursos humanos, tiempo invertido, herramientas utilizadas, entre otros aspectos. Este capítulo busca ofrecer una visión del esfuerzo económico que conlleva la realización de una revisión sistemática de la literatura, permitiendo valorar además de los hallazgos científicos, la inversión requerida.

Finalmente, se detallan las conclusiones generales del proyecto, presentando los hallazgos más importantes, y recomendaciones de líneas de investigación futuras para continuar explorando este campo que está en constante evolución.



## 2 LEARNING FACTORIES: CONCEPTO Y EVOLUCIÓN

La preparación de profesionales capaces de afrontar los retos de un mundo cambiante como es el que existe hoy, requiere un modelo diferente al tradicional con clases teóricas y metodologías de aprendizaje obsoletos. Es así como surgen las Learning Factories, laboratorios con fines educativos que simulan entornos de producción. Estas han evolucionado desde ser laboratorios enfocados en la enseñanza de competencias técnicas hasta adaptarse a las necesidades actuales de la Industria 4.0 y competencias transversales. El presente capítulo trata principalmente sobre los orígenes de las LF, ya que conocer la evolución histórica es fundamental para comprender los aspectos tratados en la presente investigación. También se presenta el término de Learning Factory, y las principales características que se deben tener en cuenta para desarrollar una fábrica de aprendizaje efectiva; así como la aplicación reciente de los principios de la Industria 4.0 en estos entornos y los retos y limitaciones que suponen su implementación.

### 2.1 Orígenes y desarrollo histórico

El desarrollo histórico de las Learning Factories se puede resumir en 4 fases, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1. Desarrollo histórico de Learning Factories. Fuente: Abele et al., 2024.

En 1994 el término Learning Factory fue utilizado por primera vez, cuando la Fundación Nacional de Ciencia en Estados Unidos otorgó una subvención para desarrollar una de estas escuelas de aprendizaje (Abele et al., 2015). El consorcio ganador estaba formado por tres universidades, Penn State (Pensylvania), Universidad de Puerto Rico-Mayaguez, y la Universidad de Washington (Lamancusa et al., 1997). Gracias a esto se creó una Learning Factory, que constaba de un espacio físico, máquinas, materiales y herramientas con las que se llevaron a cabo cientos de proyectos de ingeniería.

Esta iniciativa fue la primera en la implementación de una educación integrada basada en la práctica, dirigida a estudiantes de ingeniería. Se concentró en la impartición de conocimientos técnicos de forma dinámica, y simulando entornos de producción donde los estudiantes pudieran visualizar todo el ciclo de vida del producto, conociendo los flujos de trabajo en ingeniería (Szabó et al., 2024). Gracias a la colaboración con socios de la industria, la formación se ajustó a las demandas del mercado laboral de la época. Esta formación incluyó temas como análisis de productos, innovación tecnológica en el desarrollo empresarial, calidad de procesos, y proyectos finales de varias disciplinas (Lamancusa et al., 2006).

El establecimiento de la primera Learning Factory en Estados Unidos es un marco precedente en la

educación en ingeniería. Antes los enfoques tradicionales que daban más importancia a la teoría eran la regla. La iniciativa desarrollada en 1994 fue el inicio de un movimiento que tuvo como objetivo la utilización de infraestructuras que reprodujeran entornos productivos reales, para una formación más práctica y una adquisición de habilidades a través de una metodología que integrara también conocimientos transversales necesarios en ingeniería.

Es importante destacar que, aunque en Estados Unidos se estableció el término y se desarrolló la metodología de Learning Factories, en Alemania ya se presentaban casos similares de formación práctica desde antes. Alemania cuenta con un sistema educativo dual estructurado que busca cerrar la brecha de desempleo existente dotando a los estudiantes de habilidades y competencias. El origen de este sistema se dio a principios del siglo XX, cuando la educación obligatoria se daba hasta los 15 años y después había un vacío educativo y profesional, ya que no entraban al servicio militar hasta los 21 años. Para solucionar esto el gobierno implementó una segunda parte obligatoria de formación profesional en escuelas vocacionales. Aunque ya existía la formación en empresas, pero el nuevo sistema incluía la incorporación de teoría. Este sistema permitía la educación de los jóvenes en las empresas y en las escuelas al mismo tiempo para garantizar la calidad del aprendizaje.

El sistema dual alemán es un predecesor histórico de las Learning Factories así como la metodología actual buscaba combinar la teoría y la práctica, la colaboración entre instituciones educativas académicas e industriales, y establecer entornos estructurados de aprendizaje. La diferencia es que las LF retoman la idea, pero con un enfoque en la educación universitaria, principalmente en el área de ingeniería. En la tabla 2.1 se pueden observar las similitudes y diferencias entre los dos sistemas de aprendizaje.

Tabla 2.1 Comparación del sistema dual alemán y las Learning Factories

Dimensión	Sistema dual alemán	Learning Factories
Entornos reales	Formación dentro de empresas y escuelas vocacionales	Simulación de entornos productivos mediante espacios físicos o virtuales
Actores	Colaboración entre empresas, escuelas y sindicatos	Colaboración universidad-empresa
Integración del aprendizaje	Mezcla entre educación formal y práctica	Integración de teoría y práctica mediante proyectos, simulaciones, problemas reales
Competencias adquiridas	Habilidades técnicas y transversales	Adquisición de las mismas competencias, pero en formato de laboratorios educativos

En 1988, la Universidad de Stuttgart en Alemania creó una LF llamada “Lernfabrik”, que significa fábrica de aprendizaje, para un programa formativo sobre manufactura integrada por fabricación, con un enfoque más industrial. Siendo esta la primera LF, antes del establecimiento del término formal (Abele et al., 2017). Esto convierte a la Universidad de Stuttgart en pionera en implementación de LF. Este hecho dentro del desarrollo histórico de las LF se puede observar en la figura 2.2.

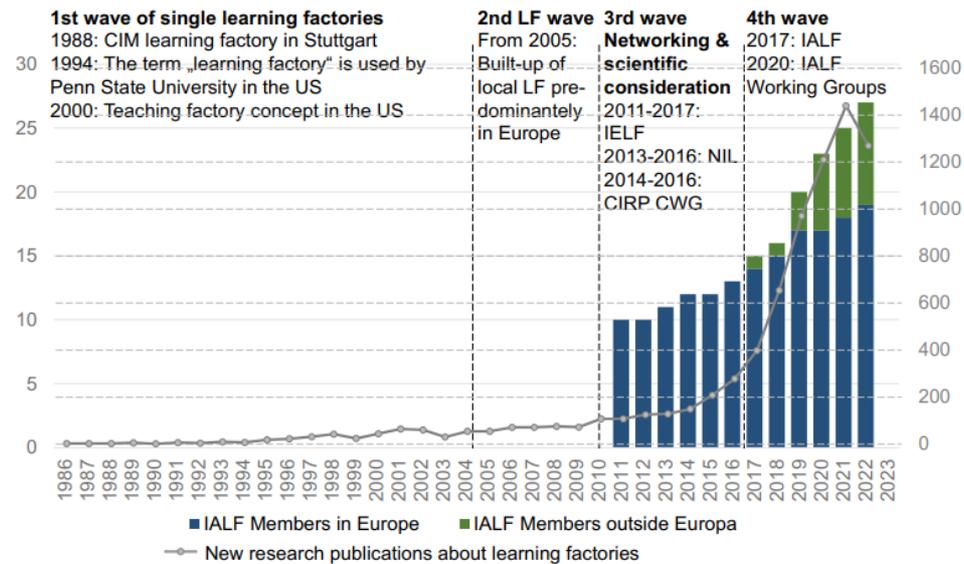


Figura 2.2. Desarrollo histórico de enfoques de LF y el número de documentos indexados en Google Scholar relacionados con fábricas de aprendizaje y enseñanza. Fuente: Abele et al., 2017.

Además, Abele et al. (2019) presentan en su libro sobre buenas prácticas de LF, el caso de Festo Didactics, una empresa alemana que desarrolla Learning Factories desde 1989. Esta empresa forma parte del grupo Festo, reconocido por la tecnología que desarrolla en el ámbito de la automatización industrial. Según Abele et al. (2019), las fábricas de aprendizaje de Festo Didactics eran operadas por los clientes de Festo, que generalmente eran instituciones vocacionales y universidades. Ofrecer entrenamiento para manejar y mejorar sus productos era su objetivo principal. Esto evidencia una existencia de LF en Alemania antes de la determinación de su término y metodología estructurada.

En la figura 2.1 se puede observar cómo, aunque hayan existido iniciativas de formación previas asociadas con la industria, las LF en universidades de Alemania formalmente estructuradas, en el año 2004 existían 3 de ellas. Según Abele et al. (2024) una de las primeras LF de esta ola fue la CiP de la Universidad Tecnológica de Darmstadt, que se concentró en temas como Lean Manufacturing así como Industria 4.0 en los últimos años.

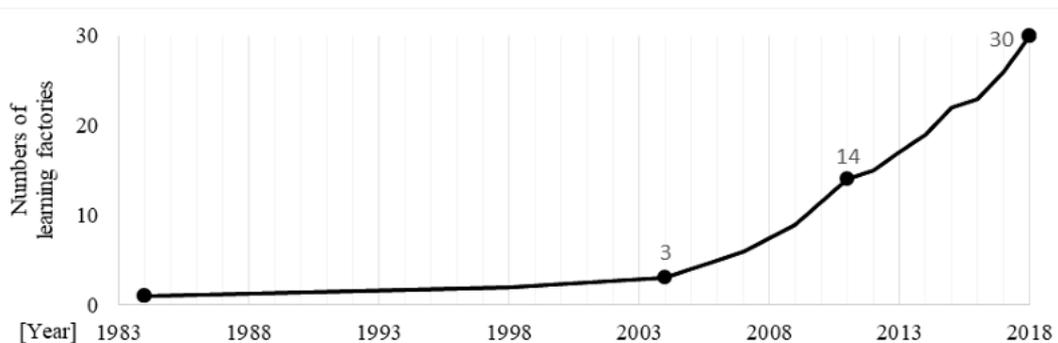


Figura 2.3. Cantidad de Learning Factories en Alemania. Fuente: Sudhoff, 2020.

También se ve un incremento de LF en 2011, lo que pertenece al periodo de la tercera ola de formación de redes científicas sobre LF, que ocurrió en Europa principalmente. Durante este año, ocurrió la primera conferencia sobre LF en la TU Darmstadt. Durante este período se formó la Initiative on European Learning Factories (IELF) para desarrollar proyectos sobre LF y dar a conocer el término de manera global, liderado por el presidente del grupo, el profesor Eberhard Abele (Abele et al., 2024). Así Abele se convierte en una figura de referencia en temas de desarrollo e implementación de LF, y posteriormente publica sus libros sobre buenas prácticas en este sector.

En la figura 2.2 también se puede observar la creación de otras redes para promover el desarrollo de proyectos de LF, como lo son la Network of Innovative Learning Factories (NIL) y el CIRP Collaborative Working Group. Pero es a partir de 2017 con la Asociación Internacional de LF (IALF) que se unen miembros internacionales de Asia, Norte y Sudamérica, a los proyectos (Abele et al., 2024). En los años posteriores han tenido lugar múltiples conferencias que fortalecieron la propagación de la metodología de LF, que siga expandiéndose actualmente, con temas más actualizados que están emergiendo como sostenibilidad e Industria 4.0.

## 2.2 Concepto de Learning Factory

Abele et al. (2015) definen el término de Learning Factory de la siguiente manera:

“Una fábrica de aprendizaje en sentido estricto es un entorno de aprendizaje caracterizado por procesos auténticos, que incluye múltiples estaciones y abarca aspectos tanto técnicos como organizativos, un entorno cambiante que se asemeja a una cadena de valor real, un producto físico que se fabrica y un concepto didáctico que comprende el aprendizaje formal, informal y no formal, facilitado por las propias acciones de los alumnos en un enfoque de aprendizaje in situ. Dependiendo del propósito de la fábrica de aprendizaje, el aprendizaje se lleva a cabo a través de la enseñanza, la formación y/o la investigación. En consecuencia, los resultados del aprendizaje pueden ser el desarrollo de competencias y/o la innovación. Es deseable un modelo operativo que garantice el funcionamiento sostenido de la fábrica de aprendizaje. En un sentido más amplio, los entornos de aprendizaje que cumplen la definición anterior, pero con un entorno que se asemeja a una cadena de valor virtual en lugar de física, o un producto de servicio en lugar de un producto físico, o un concepto didáctico basado en el aprendizaje a distancia en lugar del aprendizaje presencial, también pueden considerarse fábricas de aprendizaje.”

Las características cubiertas por esta definición se resumen en la tabla 2.1.

Tabla 2.2 Características clave de Learning Factories. Fuente: Abele et al., 2015.

Dimensión	Características
Propósito	Enseñanza y/o entrenamiento y/o investigación
Proceso	Auténtico, multi estación, técnico y organizacional
Entorno	Cambiable, real o virtual
Producto	Físico o servicio
Técnica pedagógica	Basado en conceptos, aprendizaje formal e informal, acciones propias de los participantes, aprendizaje presencial o remoto
Modelo operativo	Un plan sostenible permite la operación en marcha

De manera definitiva, el propósito de una Learning Factory debe ser la enseñanza, entrenamiento, investigación, o la combinación de estos aspectos. Es decir, debe tener una clara intención pedagógica. En el caso de que se implemente únicamente con fines lucrativos o para mejorar procesos productivos o productos dentro de una empresa real, el entorno no entra dentro de lo que se considera una Learning Factory. Su diseño e implementación deben adaptarse a aspectos educativos, y no simplemente debe ser la réplica de entornos industriales.

El proceso debe tener múltiples estaciones, y debe ser técnico y organizacional. El entorno multi estación

se refiere a que, al replicar entornos industriales reales, existirán estaciones dedicadas a cada parte del proceso productivo. Por ejemplo, fabricación de piezas, ensamblaje, almacenamiento y expedición. Así, los participantes obtienen una visión completa del ciclo de vida de un producto. Con respecto al entorno, según la definición, este puede ser físico o virtual. En algunos casos, ya no es necesario que los participantes asistan de manera presencial a la fábrica de aprendizaje, sino que las tecnologías emergentes facilitan la creación de LF que se pueden experimentar de manera digital. Actualmente están emergiendo incluso modelos híbridos, de los que se hablará más a profundidad en capítulos posteriores.

La característica de que el entorno debe ser cambiante se refiere a que la configuración de la Learning Factory no debe ser estática, sino que según los participantes se familiaricen con el proceso establecido, puedan sugerir mejoras y aplicarlas. Estas mejoras pueden estar enfocadas en el diseño del espacio físico, y también en otros aspectos como cambios en el proceso productivo, o también en el mismo producto. La flexibilidad del entorno permite desarrollar la creatividad e innovación en los participantes, una competencia clave dentro del entorno cambiante actual al que los profesionales se tienen que adaptar.

El producto puede ser físico o también un servicio. Generalmente los instructores diseñan y desarrollan un producto con múltiples partes para que los participantes puedan armarlo y así tener la experiencia de la producción, e involucrase con el proceso. En otros casos, los mismos participantes son los que diseñan el producto y se encargan de su fabricación. Esto fomenta un mayor grado de pensamiento crítico y autonomía, a la vez que desarrolla la capacidad resolutoria de problemas. Además, en vez de tratarse de un producto, puede ser un servicio el objetivo de aplicación de la LF. Esto puede darse con más frecuencia en las simulaciones donde se deba coordinar procesos logísticos, planificación de recursos en gestión empresarial, entre otros.

Con respecto a la técnica pedagógica, esta se refiere a que en una fábrica de aprendizaje se debe incluir el aprendizaje formal, que incluye, sesiones teóricas, un plan educativo estructurado, y evaluación del desempeño; pero también la posibilidad de aprender por prueba y error y trabajando con otras personas para resolver problemas, de manera más informal. Esta integración permite una adaptación más real de lo que es un entorno empresarial. Finalmente, el modelo operativo debe permitir una operación continua. No debe ser un proyecto temporal o aislado, sino que sea capaz de mantenerse activo y útil en el tiempo, con ayuda de los actores involucrados.

Lamancusa et. al. (2006) presentan otras características que surgen de las lecciones aprendidas después de la implementación de The Learning Factory, la primera en su clase. Estas son que una fábrica de aprendizaje debe tener convenios o colaboraciones con la industria, promover el aprendizaje activo, contar con una infraestructura que promueva el aprendizaje, y disponer de ayudas y recursos. Los autores destacan que es esencial que las empresas estén involucradas en todas las fases de una Learning Factory, desde la implementación hasta el análisis del contenido curricular y los periodos de entrenamiento. Esto asegura que los programas estén alineados con las necesidades reales de la industria, asegurando a los estudiantes mayores probabilidades de empleabilidad. En la figura 2.4 se pueden observar beneficios generados gracias a esta colaboración.

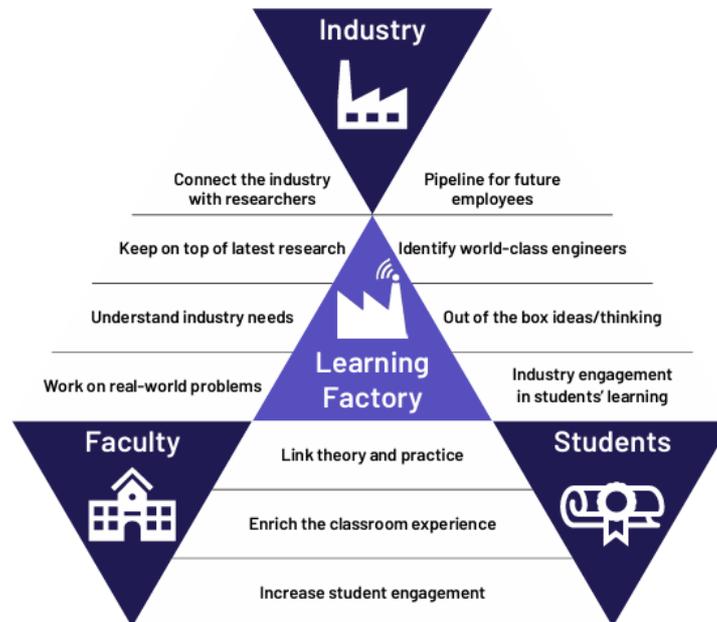


Figura 2.4. Beneficios generados por la conexión facultad-industria-estudiantes que generan las LF.

Fuente: Sorensen et al., 2022.

También enfatizan que una fábrica de aprendizaje debe estimular a los estudiantes a que aprendan de manera autónoma, y así tener mejores resultados que con un método pasivo de aprendizaje. A diferencia de las clases tradicionales, el enfoque que brindan las Learning Factories favorece la retención de los conocimientos. A su vez, la infraestructura debe ser visualmente atractiva para motivar a los participantes, y las clases multidisciplinarias. Así, participantes de diferentes áreas deben tener acceso a las formaciones sin importar la carrera que hayan estudiado. Esto da un mayor valor a los entrenamientos ya que los participantes pueden adquirir conocimientos a través de sus compañeros de otras ramas.

Asimismo, mencionan que el desarrollo de las Learning Factories dependerá del apoyo de diferentes entidades como las facultades de las universidades, diferentes personas pertenecientes a la administración de las universidades, y las empresas. La viabilidad de las fábricas de aprendizaje depende de la colaboración de estos actores. El esfuerzo conjunto que supone esto permite el intercambio de conocimientos, y perspectivas para el diseño e implementación de las Learning Factories. Así, se crea un entorno más dinámico y conectado a la realidad de los diferentes sectores productivos.

### 2.3 Aplicación de la Industria 4.0 en las Learning Factories

En el contexto industrial actual donde existe una alta competitividad, la adaptación de las empresas a las cadenas de suministro 4.0 globales dependen de la adquisición de competencias tecnológicas de sus trabajadores (Marmier et al., 2021). Para mantener una actualización con las nuevas tecnologías, es necesaria la utilización de nuevos métodos de aprendizaje, gracias a la rápida evolución de los sistemas de producción (Neacsu et al., 2021). Según Neacsu et al. (2021), la incorporación de tecnologías como realidad virtual y aumentada en entornos de aprendizaje tiene una tasa alta de aceptación entre los participantes gracias a las funcionalidades que les ofrece. Y el uso de estas técnicas permite un mayor desarrollo innovador en metodologías de enseñanza y entrenamiento.

Al Khatib et al. (2023) dentro de su estudio de aplicación de Industria 4.0 en una LF de ensamblaje automotriz, afirman que las tecnologías de la Industria 4.0 como la simulación de procesos facilitan el aprendizaje en los estudiantes y mejoran su habilidad de toma de decisiones, a la vez que aumenta su creatividad al ser capaces de proponer la integración de nuevas tecnologías en diferentes partes del proceso en el que no estaban implementadas, y así mejorar la eficiencia operativa.

A su vez, Sorensen et al. (2022) afirman que las fábricas de aprendizaje son herramientas importantes en las que se puede experimentar y aprender conceptos sobre la Industria 4.0. Utilizando la última tecnología, las LF son un entorno apto para la reunión de estudiantes, académicos y empresarios y la resolución de problemas en común, donde cada uno puede aportar sus experiencias y obtener beneficios para su sector. Recomiendan que las PYMES para actualizarse en esta área, deben prestar atención a la formación de sus trabajadores mediante Learning Factories.

También los conceptos de la Industria 4.0 pueden ser un complemento para la enseñanza de otros temas en las Learning Factories, como el Lean Manufacturing. Dentro de su estudio sobre Integración de la Industria 4.0 en fábricas de aprendizaje, aplicaron tecnologías de la Industria 4.0 en la línea de ensamblaje de la producción para abordar requerimientos de clientes que no se podían resolver sin el uso de estas tecnologías (Bauer et al., 2018).

Aunque las tecnologías son importantes en el tema de Industria 4.0, Schallock et al. (2018) destacan que también las habilidades transversales deberían ser tomadas en cuenta. En la figura se pueden observar los tipos de competencias que debería cubrir una LF enfocada en Industria 4.0.

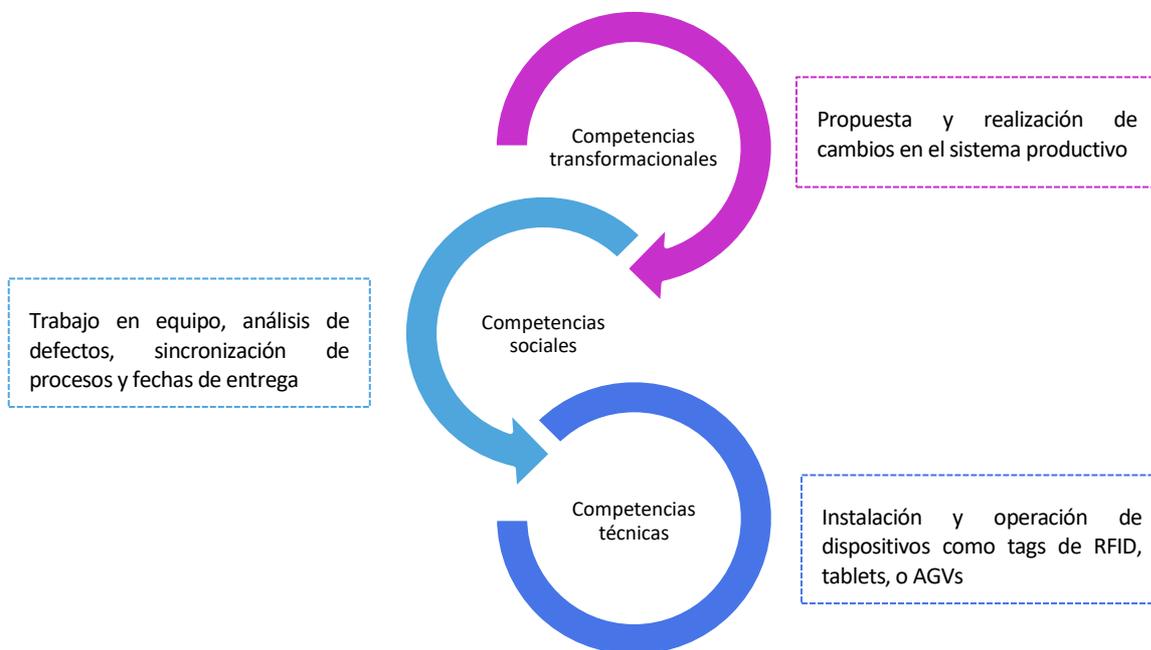


Figura 2.5. Categorías de competencias necesarias en una LF adaptada a la Industria 4.0. Adaptado de: Schallock et al., 2018.

Dentro de las competencias transformacionales se encuentran la capacidad de los participantes para desarrollar propuestas sobre mejoras en el sistema productivo. Con la integración de las tecnologías emergentes a las fábricas de aprendizaje se pueden analizar los beneficios de cada una de ellas y aplicar la más adecuada para resolver los problemas determinados. También se adquieren competencias sociales al permanecer en un entorno multidisciplinar, trabajando en proyectos con múltiples personas, que tienen como objetivo el análisis de defectos para la mejora de los productos y procesos, a la vez que adaptarse a aspectos del entorno productivo real como lo son los procesos y fechas de entrega. Y como es evidente, y la principal meta de las fábricas de aprendizaje, se adquieren competencias técnicas que en el ámbito de la Industria 4.0 tienen que ver con el manejo e implementación de tecnologías como por ejemplo RFID y AGVs en la parte logística.

Louw y Deacon (2020), afirman que las empresas necesitan trabajadores con habilidades innovadoras para la implementación de tecnologías en sus procesos. En su LF, los estudiantes debían diseñar e implementar una celda automatizada de producción, utilizando tecnología como robots, manufactura aditiva e Internet de las Cosas. Este permitió en los participantes el desarrollo tanto de habilidades técnicas relacionadas con

la Industria 4.0, como de habilidades blandas como creatividad, pensamiento crítico y resolución de problemas. Esto prepara a los estudiantes para vivir situaciones que se dan en entornos laborales dinámicos y avanzados de manera tecnológica.

Con base en los libros de Abele “Learning Factories: Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples”, escrito junto a Joachim Metternich y Michael Tisch, y “Learning Factories: Featuring New Concepts, Guidelines, Worldwide Best-Practice Examples”, se ha realizado un análisis preliminar de la literatura. Se han escogido dichos libros ya que su autor es una figura clave en el sector de las Learning Factories, como se mencionó en la primera sección de este capítulo. Su trayectoria académica y aportes dentro de este tema son de gran relevancia para impulsar este modelo de aprendizaje. En el contexto europeo, específicamente el alemán, Abele ha sido pionero al consolidar las Learning Factories como una herramienta para la formación con enfoque práctico en entornos industriales.

Una de las principales razones para la elección de los libros es que Abele explica de manera clara los fundamentos de las Learning Factories. Asimismo, presenta estudios de casos reales, modelos de implementación, y ejemplos de buenas prácticas. Según estos casos presentados por Abele et al. (2019) y Abele et al. (2024), las tecnologías de la Industria 4.0 más utilizadas en las Learning Factories se presentan en la figura 2.6.

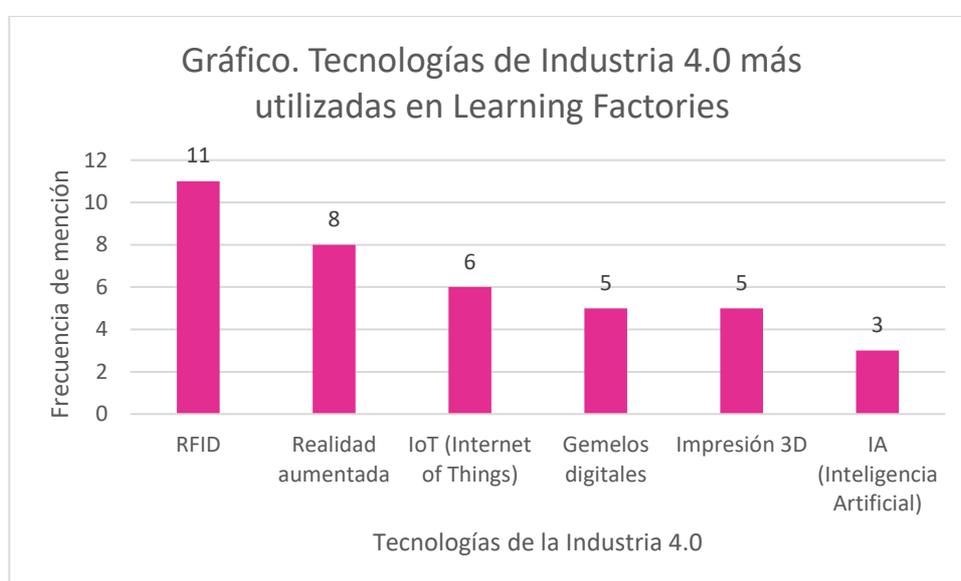


Figura 2.6. Tecnologías de la Industria 4.0 más utilizadas en las Learning Factories.

Las tecnologías más utilizadas según el análisis son RFID, realidad aumentada e Internet de las Cosas. La integración de estas herramientas permite una conexión más efectiva entre los procesos del entorno físico y digital dentro de las Learning Factories. La RFID se utiliza principalmente para la trazabilidad de los productos dentro de las LF y así automatizar el flujo de información para el análisis en tiempo real a partir de esto. La realidad aumentada permite una mejor comprensión de los procesos productivos establecidos mejorando la experiencia didáctica.

Cabe destacar que, aunque muchas Learning Factories se enfocan en aspectos de la Industria 4.0, el reto emergente es adaptarlas a las necesidades de la Industria 5.0, con enfoque en el humano y en su colaboración con las máquinas, sostenibilidad y resiliencia (Tan et al., 2023). Lagorio y Cimini (2024) observaron que las LF son útiles en el desarrollo de contenido curricular que ofrecen una visión equilibrada con los principios de la Industria 5.0 y los procesos productivos y logísticos. Así, en estas LF adaptadas, los participantes se preparan para enfrentarse a retos relacionados con el ambiente y tecnologías de la industria moderna. En la tabla 4.1 se presentan algunas LF que ya han establecido esta clase de objetivos.

Tabla 2.3 Ejemplos de LF con objetivos de Industria 5.0. Fuente: Tana et al. (2023)

Nombre	Organización	País	Área de la Industria 5.0
Die Lernfabrik	TU Braunschweig	Alemania	Producción sostenible
ETA-Factory	PTW, TU Darmstadt	Alemania	Eficiencia y flexibilidad energética,
LEAD Factory	Graz University of Technology	Austria	Eficiencia energética
LPS Learning Factory	Ruhr-Universität Bochum	Alemania	Eficiencia de recursos, entrenamiento
Logistics Learning Factory	Reutlingen University	Alemania	Digitalización, experiencia 3D
LSP	TU Munich	Alemania	Entrenamiento, eficiencia de recursos
CiP	TU Darmstadt	Alemania	Gestión de residuos, entrenamiento
Purdue Learning Factory	Purdue Polytechnic	Estados Unidos	Colaboración humano-robot, gemelos digitales y sostenibilidad

## 2.4 Retos y oportunidades

El desarrollo e implementación de las fábricas de aprendizaje conlleva múltiples procesos con requerimientos que a veces dificultan su aplicación. En su investigación sobre enfoques de diseño en Learning Factories, Kreß et al. (2021) identifican limitaciones que presentan estos entornos. Entre estas se encuentran:

- La falta de recursos económicos necesarios para implementarlas: es necesario que el diseño de la LF sea acorde a la disponibilidad de recursos económicos con la que cuente la institución desarrolladora.
- Falta de escalabilidad: las LF deben tener una capacidad de expansión adecuada para llegar a más personas y adaptarse a diversos entornos industriales.
- Habilidad de mapeo: los instructores o instituciones implementadoras deben ser capaces de identificar las necesidades de la industria para poder diseñar un contenido curricular actualizado acorde con estos requerimientos, y así desarrollar en los participantes competencias útiles actualmente.
- Considerar la movilidad: la utilización de entornos digitales debe ser considerada para expandir el acceso de los participantes. Asimismo, el diseño de instalaciones móviles debe ser un aspecto importante para poder llegar a más personas.
- La efectividad del desarrollo de aprendizaje no siempre está garantizada: es importante una evaluación continua para verificar si se están cumpliendo los objetivos establecidos. El autor menciona que se deben tomar en cuenta aspectos como el entorno, el propósito y el modelo operativo de la LF.

También existe un declive en la funcionalidad de la LF si esta no realiza una constante actualización del contenido adaptado a las tendencias y nuevos campos de aplicación. Según Siegert et al. (2020), si una LF se concentra en un solo sector de aplicación o si este no abarca lo suficiente para ser considerado

disciplinario, el entorno se vuelve obsoleto y no da lugar a la apertura a otros campos de aplicación. Para solucionar esto proponen un modelo de LF ultra flexibles en el que se desarrollen competencias adaptadas al nivel de complejidad industrial actual, así como una capacidad alta de cambio de configuración para que los participantes puedan experimentar diferentes diseños según lo requiera el cliente ficticio.

La posibilidad de obsolescencia se resuelve mediante este enfoque al transformar las LF en entornos modulares, configurables y cambiables, ya que así pueden adaptarse a nuevos sectores o necesidades de formación. Así, en lugar de caer en la desactualización cuando hay un cambio de requerimientos del mercado, pueden ganar relevancia gracias a su reconfiguración.

Dommermuth (2024) también afirma que la división por módulos de las LF es un aspecto clave para su éxito, pero enfocándose en la implementación de características de la industria 4.0 en estos entornos de aprendizaje. Menciona que la LF debe adaptarse rápidamente a los problemas actuales de la industria gracias a su diseño abierto y modular, y muestra el ejemplo de una LF que, utilizando una arquitectura informática abierta, permite la transferencia de ejercicios de aprendizaje con la industria y otros participantes. También afirma que la escasa adaptación de las LF conduce a su obsolescencia.

## 3 CÓMO HACER UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

---

El presente capítulo tiene como objetivo presentar una descripción teórica y estructurada del proceso metodológico para la elaboración de una revisión sistemática de la literatura. En todo trabajo académico, sin importar el tema o enfoque, la revisión de la literatura constituye un paso esencial ya que permite conocer el estado actual y la evolución de un tema o campo de estudio, además de diferentes opiniones con respecto al tema elegido, y detectar vacíos de investigación que puedan servir de guía para la orientación de nuevas investigaciones.

Como referencia para explicar las fases de la revisión sistemática, se utilizarán marcos metodológicos populares y ampliamente aceptados como la Declaración PRISMA 2020.

Las secciones siguientes presentan las definiciones principales para comprender el enfoque sistemático, los pasos a seguir, y las herramientas utilizadas para su ejecución. Este marco teórico se aplicará en el siguiente capítulo, donde se explicará de forma detallada los criterios adoptados en este trabajo.

### 3.1 Definición e importancia de las revisiones sistemáticas

La revisión sistemática se refiere a una metodología de revisión de la literatura, que mediante un proceso riguroso en el que se justifica cada acción, permite seleccionar, evaluar y sintetizar la documentación obtenida acerca de un tema específico de investigación (Denyer y Tranfield, 2009). Es una herramienta de referencia utilizada para los procesos de toma de decisiones informadas y el futuro desarrollo de investigaciones que pueden surgir a partir del estudio principal, en múltiples disciplinas.

Según Poklepović Peričić y Tanveer (2019), entre los beneficios que tienen las revisiones sistemáticas son brindar un panorama sobre la evidencia disponible en un campo de investigación, determinar los vacíos en la comprensión de ciertos temas, y la identificación de respuestas a preguntas que pueden surgir a partir del análisis de la documentación sin la necesidad de nuevas investigaciones. Primero, debido a la gran cantidad de información producida actualmente, se puede generar una difícil capacidad para establecer relaciones entre distintos descubrimientos de un mismo sector. Esto puede cambiar con el uso de revisiones sistemáticas, al revisar y agrupar en un solo documento los datos, aportando conclusiones sobre relaciones y patrones encontrados.

También, al analizar la información disponible en las revisiones sistemáticas y encontrar patrones, se facilita la detección de los vacíos de investigación. En todos los ámbitos existen puntos que se estudian con menos frecuencia y profundidad que otros. Es así como las revisiones sistemáticas permiten identificar estos puntos menos abordados, lo que da lugar a la proposición de futuras líneas de investigación y contribuye al avance del sector estudiado. Philips (2023) subraya cómo la aplicación de estrategias rigurosas en las revisiones sistemáticas áreas menos investigadas y la estandarización de métodos educativos en ingeniería.

La rápida evolución del campo de ingeniería da como resultado un gran número de información técnica nueva. Para analizar y sintetizar grandes cantidades de información, otras disciplinas han utilizado las revisiones sistemáticas, por lo que en ingeniería se ha adaptado su uso, lo que muestra un rápido crecimiento de dicha metodología en este sector (Power, 2021). Phillips et al. (2024) destacan la consolidación de las revisiones sistemáticas en ingeniería en las últimas décadas, evidenciado un aumento notable en su aplicación.

Las revisiones sistemáticas son especialmente útiles para la obtención de una síntesis de la información en un área del conocimiento, lo que permite también la exploración de futuras líneas de investigación y la formulación de preguntas incapaces de ser respondidas a partir de estudios individuales (Page et. al, 2021).

Sin embargo, Shaheen et al. (2023) destacan que la validez de una revisión sistemática recae en la adhesión a metodologías establecidas para llevarla a cabo, y así poder formular una pregunta de investigación clara y estrategias de búsqueda y de síntesis rigurosas, para asegurar relevancia para futuras investigaciones.

## 3.2 Características

Según Denyer y Tranfield (2009), una correcta revisión sistemática de la literatura debe ser replicable, exclusiva, transparente, inclusiva, explicativa.

Una revisión sistemática debe poder ser replicada por otros investigadores en el futuro. Para que esto pueda ser posible, todos los pasos realizados deben ser explicados sin omitir detalles. La justificación de estos es esencial para su replicación y disminuir posibles sesgos debidos a opiniones del investigador. Además, este último debe mencionar la relevancia de la documentación encontrada.

Otra de las características que debe incluir una revisión sistemática es la de exclusividad. Esto significa que la documentación seleccionada debe ser la mejor evidencia posible de aquello que responde a la pregunta de investigación. Para poder lograr esto, se deben establecer una lista de criterios que ayudarán al investigador a evaluar la calidad de cada una de las fuentes.

Asimismo, la transparencia es un principio esencial en una revisión sistemática. El investigador debe dar a conocer de forma explícita la metodología aplicada para llevar a cabo su trabajo, así como diferenciar los hallazgos encontrados, de sus conclusiones o interpretaciones propias. Esta distinción permite que exista una clara comprensión para los lectores y futuros investigadores y replicar el estudio si este es su objetivo.

La inclusividad es otra de las características clave en esta sección. Este término se refiere a la inclusión de toda la evidencia posible que pueda ser relevante, basándose en la pregunta de investigación y evitando la limitación del estudio a cierto tipo de documentación impulsada por sesgos. La inclusividad permite obtener puntos de vista más amplios de la evidencia y lograr una mayor diversidad de esta.

De la misma manera, una revisión sistemática debe ser explicativa. En la parte de síntesis, se debe extraer la información de cada artículo individual con el objetivo de establecer un panorama que combine todos los hallazgos para generar conclusiones que aporten al estudio. Es decir, cada documento es importante y aporta valor por sí mismo, pero al realizar el análisis conjunto debe generar conclusiones sólidas que resulte en aportes significativos al conocimiento del área de estudio.

## 3.3 Fases de una revisión sistemática de la literatura

Según Denyer y Tranfield (2009), las fases a seguir para realizar una revisión sistemática de la literatura son la formulación de la pregunta de investigación, búsqueda de la literatura, selección y evaluación de estudios, análisis y síntesis, y presentación y explotación de resultados.

### 3.3.1 Formulación de la pregunta de investigación

La formulación de la pregunta de investigación es el primer paso en toda revisión sistemática. A continuación, se presentan dos de las metodologías más utilizadas para llevar a cabo esta fase.

#### 3.3.1.1 Modelo PICO

El modelo PICO, introducido por Richardson et al. (1995), es más utilizado en revisiones sistemáticas enfocadas en el área de la medicina, aunque se puede adaptar y aplicar a otros ámbitos cuando la meta es la evaluación de la eficacia de distintas alternativas o enfoques. El acrónimo PICO representa cuatro elementos clave: Patient (paciente), Intervention (intervención), Comparisons (comparaciones), y Outcome (resultado). El primero se refiere al individuo, población o problema de estudio; el segundo al método

aplicado al paciente; el tercero a lo que se compara en el estudio; y el cuarto a lo que se espera lograr con la investigación.

Un ejemplo sencillo mostrado por (Nishikawa-Pacher, 2022) es la pregunta “¿Entre los niños que están cansados después de un partido (P), una taza de té de jengibre (I), resulta en una reducción del cansancio (O), más que una de té negro (C)? Aunque si bien el origen de PICO es clínico, esto no invalida que pueda ser utilizado de manera universal en todo tipo de investigaciones, sino que amplía su uso en múltiples ámbitos más allá del entorno médico (Nishikawa-Pacher, 2022).

Estudios recientes han propuesto añadir un elemento S, que significa análisis estadístico, lo que transformaría el marco a PICOS. De esta forma se detallan explícitamente los métodos y herramientas estadísticas utilizadas en el análisis de la información para que haya una reducción en la probabilidad de cometer errores (Saaqi & Ashraf, 2017). Así se garantiza que el artículo o revisión sea científicamente sólido. Esto es más relevante en revisiones sistemáticas que incluyan una evaluación de la calidad de la documentación analizada.

### 3.3.1.2 Modelo CIMO

En el ámbito de las revisiones sistemáticas, Denyer et al. (2008) establecieron un acrónimo, CIMO, que es útil como guía para establecer preguntas de investigación que sean claras y enfocadas. Las siglas CIMO significan Context (contexto), Intervention (Intervención), Mechanisms (Mecanismos), y Outcomes (Resultados).

El contexto se refiere al entorno o grupo de individuos de interés a los que se desea estudiar en la investigación. Este puede incluir personas, grupos, equipos, organizaciones, localizaciones geográficas, pero también características demográficas como edad y sexo. La intervención corresponde a los sistemas, entrenamientos, o aspectos implementados que generan un cambio o efecto en los individuos de interés, para modificar o mejorar una situación específica. La introducción de metodologías de enseñanza, tecnologías o estrategias empresariales pueden ser ejemplos de intervenciones en contextos de ingeniería.

Las acciones que explican cómo las intervenciones generan los resultados, hacen referencia al mecanismo. Es decir, los procesos causales que hacen que la intervención produzca efectos en un contexto determinado. Esto responde a la pregunta de cómo y por qué los individuos cambian al aplicar la intervención. Los mecanismos no son acciones que se puedan observar sino reacciones que se activan en los individuos y sus razones.

Los resultados se refieren a las consecuencias o efectos observables de implementar las intervenciones en los individuos. En esta parte se debe analizar si los resultados son relevantes o no para los individuos, al igual que cuáles resultados son los primarios y los secundarios. Los primarios estarían relacionados de manera directa con la pregunta de investigación, mientras que los secundarios si bien podían no esperarse complementan a los resultados primarios, aunque con una relevancia menor. Estos también pueden ser tanto cualitativos, tales como aumento de la productividad, o cuantitativos, tales como índices de satisfacción o percepción de aprendizaje.

El marco CIMO puede ser utilizado en diversas disciplinas. Oseni et al. (2023) estudiaron cómo los sistemas ERP pueden ser mejorados después de ser implementados para la optimización de los procesos de negocios. Propusieron una teoría que explica las razones de mejora considerando diversos factores como el costo y la capacitación. A su vez, Bhatia et al. (2023) aplican el marco CIMO para investigar acerca de soluciones financieras aplicadas a las cadenas de suministro agrícolas habilitadas por blockchain. También, Cortes-Pellicer y Castelló-Sirvent (2025) analizan la gestión de residuos de pajas de arroz en Valencia, España, utilizando como referencia el marco CIMO.

Estos ejemplos evidencian la flexibilidad de CIMO y su utilidad para abordar distintos tipos de problemas en diversos contextos. En diferentes ámbitos, sus elementos permiten la comprensión del por qué se generan ciertos efectos. Por lo tanto, el marco CIMO contribuye también a la generación de teorías que sirven como guía para una toma de decisiones tomando en cuenta una perspectiva global del contexto

estudiado en múltiples disciplinas.

### 3.3.2 Búsqueda de la literatura

Esta etapa consiste en la búsqueda de la evidencia relevante basándose en la pregunta de investigación a resolver. Principalmente la búsqueda se realiza mediante bases de datos, cuya importancia se ha incrementado en los últimos años debido a su función de proveer datos masivos para actividades de investigación (Pranckuté, 2021). Las bases de datos que se consideran más importantes en investigaciones científicas son WoS y Scopus, representando el mayor porcentaje en índices de citas (Kumpulainen y Seppänen, 2022).

WoS, basado en el Science Citation Index fundado en 1964, es la base de datos más antigua con un alcance de 34.000 revistas hoy en día (Birkle et al., 2020). Además, según Birkle et al. (2020) WoS es la base de datos más citada y utilizada globalmente. Aunque Scopus es más reciente, ya que surgió en 2004, ha ganado más relevancia entre investigadores debido a su mayor cobertura bibliográfica, de referencias y actualizaciones (Kokol, 2023). Según Hosseiniara (2023), Scopus ofrece un 20% más de cobertura que WoS. Visser et al. (2020) en su estudio de comparación de fuentes de datos bibliográficos, afirman que Scopus cubre un mayor número de documentos que WoS.

Aunque Web of Science surgió primero, la constante actualización, amplitud de la documentación disponible, y capacidad analítica de Scopus, hacen que esta última sea preferida para muchos investigadores e instructores institucionales para el tema de evaluación del impacto tanto en el ámbito científico como en el académico. Su rápida evolución le ha hecho superar el establecimiento histórico que tiene WoS.

Sin embargo, aunque de manera general para muchos autores Scopus sea más adecuada que WoS, su elección depende de los objetivos de cada investigación. Según Pranckuté (2021), Scopus es más adecuada para la evaluación de los resultados de la búsqueda en el trabajo cotidiano, debido a su mayor cobertura y accesibilidad de sus métricas. Por otro lado, WoS tiene sus propias ventajas, al permitir una mayor idoneidad para la búsqueda y el análisis de documentación de acceso abierto. En la figura 3.1 se observa una comparación entre los journals que aparecen en estas dos bases de datos.

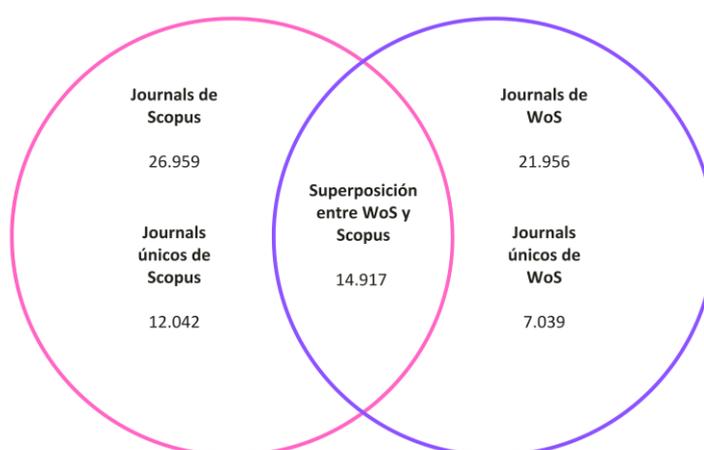


Figura 3.1. Comparación de Journals – WoS vs Scopus. Fuente: Adaptado de Kapoor & Upadhyay, 2023.

Además, es necesario resaltar que, aunque sea la creencia general la búsqueda electrónica no es el único método existente. También se permiten otras fuentes como libros y recomendaciones de expertos. Todo depende de la naturaleza de la investigación, y de la decisión de los autores sobre la inclusión de ciertos

tipos de documentación y fuentes. Todo esto siempre y cuando sean fuentes válidas de calidad. La validez de una fuente de datos depende de un conjunto de elementos como la cobertura de la información, la precisión de esta, y el periodo que transcurre entre la revisión y la publicación (Visser et al., 2020).

También existen otras bases de datos que se pueden utilizar en la búsqueda de la literatura, aunque menos reconocidas y utilizadas. Turgel y Chernova (2024) consideran AMiner, Wizdom.ai, the Lens, Dimensions, y OpenAlex como alternativas a WoS y Scopus resaltando que, si bien es cierto que en ellas existe un gran número de documentación duplicada, aportan datos esenciales sobre las tendencias emergentes en el campo científico. Otros ejemplos de bases de datos son Google Scholar, PubMed, JSTOR, y Science Direct.

### 3.3.2.1 Operadores booleanos

En la búsqueda de la literatura también es primordial que la metodología utilizada sea descrita en detalle. Para realizar la búsqueda se deben incluir operadores booleanos, palabras clave, filtros, entre otros. La combinación o exclusión de términos para afinar los resultados se da gracias a la utilización de operadores como AND, OR y NOT.

En el caso de AND, este operador permite que se incluyan todos los términos involucrados en la búsqueda. Por ejemplo, en el caso de buscar Learning AND Factories, resultan en la búsqueda todos los artículos que incluyan estas dos palabras. En el caso de utilizar OR, la base de datos va a excluir una de las dos palabras. Es decir, si un artículo presenta solo la palabra “Learning” lo mostrará como resultado de la búsqueda, aunque este no incluya “Factories”, y viceversa. Ejemplos de títulos resultado de esta búsqueda son:

- “Cancer Prognosis and Diagnosis Methods Based on Ensemble **Learning**”
- “Construction of an Escherichia coli cell **factory** for de novo synthesis of tyrosol through semi-rational design based on phenylpyruvate decarboxylase ARO10 engineering”

Por último, al usar NOT, la búsqueda realizará la exclusión de los documentos que mencionen el término que se coloque después de este operador. Por ejemplo, al buscar Learning NOT Factories, resultará documentación que incluya el primer término, mas no el segundo. Ejemplos de resultados de títulos con este operador y estos términos son:

- “Using machine **learning** and blockchain for trusted detection and monitoring of excessive working hours in factories”
- “**Learning** multiple coordinated agents under directed acyclic graph constraints”

La variabilidad de los resultados en la utilización de diferentes operadores reafirma la importancia de una correcta utilización de estos para acercar los resultados a los objetivos establecidos para el tema de investigación, y así evitar perder de vista documentación importante que puede ser relevante según la pregunta de investigación. Por lo tanto, es importante que los investigadores dominen las técnicas de búsqueda y comprendan la función de cada operador.

Por otra parte, el uso de caracteres especiales como \*, x, también puede ayudar a afinar los resultados de la búsqueda. El asterisco se utiliza para que en la búsqueda aparezcan todas las variantes posibles de una palabra. Por ejemplo, al escribir learn\* resultarán documentos que incluyan palabras como learner, learning, learned. Es importante tener en cuenta la posición de este símbolo en la palabra requerida, ya que ponerla muy cerca al inicio de esta puede afectar la precisión de los resultados. Todo depende de los resultados esperados.

Otros ejemplos de caracteres especiales son \$, y “”. El uso del símbolo \$ va a permitir reemplazar el carácter o la letra deseada, facilitando así la búsqueda de variantes o términos que estén relacionados. Por ejemplo, al buscar reali\$ation, resultarán términos como realisation y realization, lo que puede ampliar el alcance de la documentación. Por otro lado, el uso de comillas permite que resulten exactamente los términos buscados en la base de datos. Por ejemplo, si se busca “Learning Factories”, solo aparecerán documentos que contengan estas dos palabras. En la tabla 3.1 a continuación, se resume la utilización de los operadores

booleanos y caracteres especiales.

Tabla 3.1 Operadores booleanos y caracteres especiales en búsquedas de la literatura

Operador/Símbolo	Función	Ejemplo	Resultado
\$	Reemplazar uno o más caracteres	Realizati\$on	Realisation, realization
*	Reemplazar más de dos caracteres	Learn*	Learning, learned, learner
""	Buscar los términos exactos	"Learning Factories"	Learning Factories
AND	Combinar términos	Learning AND Factories	Documentación con ambos términos
OR	Ampliar la búsqueda	Learning OR Factories	Documentación con uno de los dos términos
NOT	Excluir términos	Learning NOT Factories	Documentación que excluye el término Factories

Según Gusenbauer y Gauster (2024) los operadores más utilizados fueron OR y AND y el uso de las comillas y asteriscos predominaron en las búsquedas relacionadas con temas de gestión, como se puede observar en la figura 3.2. También se visualiza la utilización de palabras clave como método de búsqueda preferido frente a otros como el contacto directo con los autores, o la búsqueda manual de la literatura.

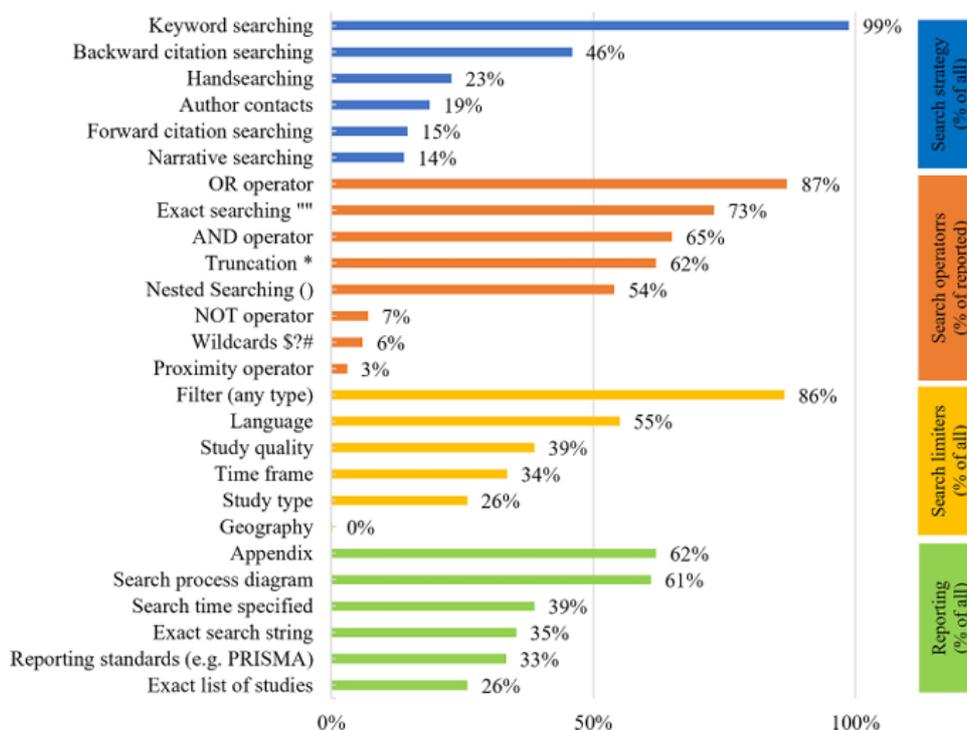


Figura 3.2. Muestreo en revisiones sistemáticas de la literatura sobre gestión. Fuente: Gusenbauer & Gauster, 2024.

También es importante el uso de filtros en la búsqueda de la literatura. Entre los filtros principales de toda base de datos se encuentran:

- Año de publicación: permite la limitación de los resultados ya sea a un rango de años como a un año en específico.
- Tipo de documento: pueden ser artículos de revista, conferencias, libros, tesis, entre otros.
- Idioma: permite seleccionar el idioma de publicación del documento, se pueden elegir entre uno o varios idiomas.
- Área temática: filtra por áreas de conocimiento, por ejemplo, ciencias sociales, ingeniería, medicina. En la figura 3.3 se pueden observar algunos de los filtros por este aspecto.
- Fuente: permite la elección de ciertas revistas específicas.
- Tipo de acceso: se refiere a si el acceso es abierto, es decir, gratis para todo el público, o si se requiere algún tipo de suscripción para poder visualizar el contenido.
- Autores: filtra los resultados por nombres de autores más relevantes.

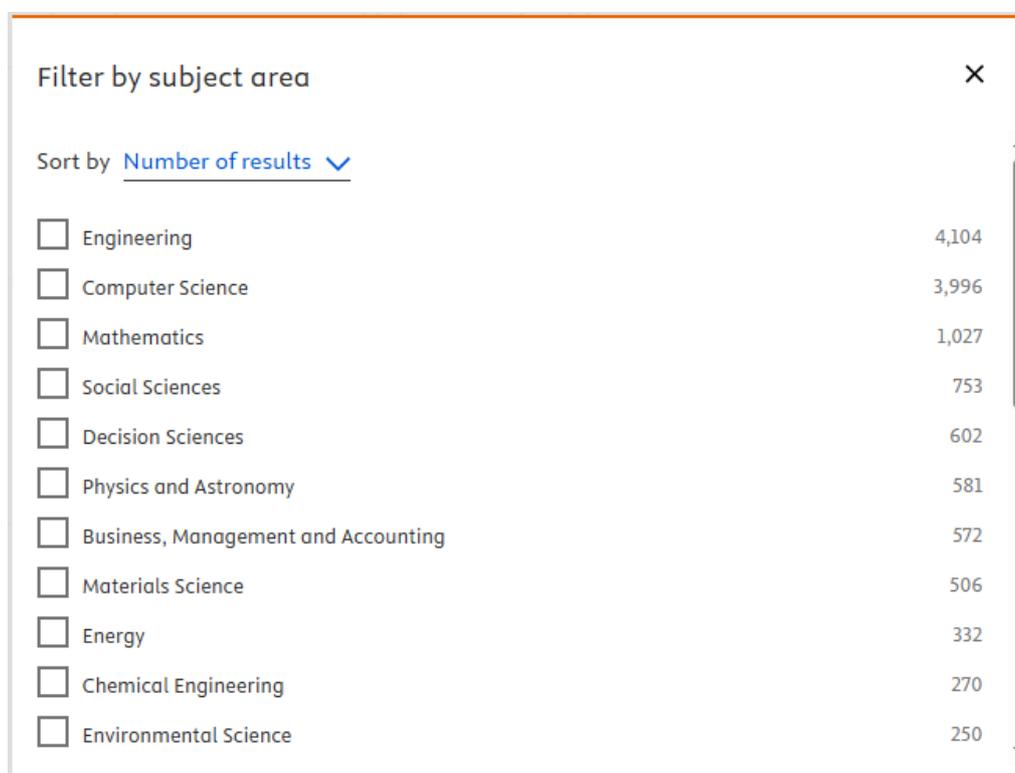


Figura 3.3. Filtro de áreas temáticas en Scopus

### 3.3.3 Selección y evaluación de estudios

La información presentada en el presente y el siguiente punto se basa principalmente en los planteamientos metodológicos propuestos por Denyer y Tranfield (2009).

Las revisiones sistemáticas son caracterizadas por su rigurosidad en esta fase. Durante la selección y evaluación de estudios, los criterios de inclusión de la información son definidos. Esto se realiza para explicar el alcance y las limitaciones de la investigación. De la misma forma se establecen criterios de exclusión para descartar artículos o fuentes que no estén alineados con los objetivos del trabajo. La aplicación de estos criterios en las revisiones sistemáticas asegura un proceso objetivo y una reducción en posibles sesgos. Además, se evalúa de manera crítica el nivel de calidad de la documentación encontrada con el fin de asegurar su fiabilidad para el estudio.

Lorenzo et al. (2022) plantea que los criterios de inclusión son importantes ya que ayudan a evaluar si un estudio debe ser incluido o excluido de la revisión, mientras que los criterios de exclusión hacen que se eviten las variables que pueden conducir a variabilidad en los resultados de la investigación.

### 3.3.4 Análisis y síntesis

El objetivo del análisis y síntesis es la extracción en los artículos de aspectos pertinentes y alineados con el objetivo de responder a la pregunta de investigación, para describir la relación que tienen con la demás documentación elegida. El hecho de detallar de manera individual los hallazgos encontrados en cada artículo no es suficiente, sino que es necesaria la identificación de patrones y tendencias que surjan del conjunto total de la documentación. La comparación, el contraste, y la agrupación de resultados son implicaciones que tiene esta etapa para construir una visión integral que permita establecer conclusiones. Además, el análisis debe considerar posibles discrepancias entre los artículos y explicar factores contextuales que puedan influir en los resultados.

## 3.4 Metodología PRISMA 2020

Prisma 2020 es una guía para la realización de revisiones sistemáticas, desarrollada para la documentación de la justificación, la metodología utilizada y los hallazgos encontrados dentro de estas (Page et al., 2021). Su objetivo principal es asegurar que se ha cubierto toda la información necesaria, de acuerdo con Page et al. (2020). Consta de una lista de verificación de 27 aspectos que es necesario que se encuentren dentro de la revisión para que sea transparente. Entre estos se menciona que el título debe especificar que se trata de una revisión sistemática, y también se resalta la importancia de que se detalle toda la metodología utilizada en cada sección del trabajo, desde la búsqueda de la literatura hasta el análisis y síntesis, entre otros puntos.

Según Sohrabi et al. (2021), revisiones sistemáticas más completas, claras y consistentes surgen como consecuencia de una correcta aplicación de la metodología PRISMA 2020. Esta nueva versión permite a los investigadores académicos una elaboración de análisis sistemáticos exhaustivos que se lleven a cabo de manera más rápida, y que sean de interés para la comunidad investigativa. Además, genera una ventaja para los lectores al permitirles comprender de manera más profunda el tema y generar nuevas preguntas de investigación.

PRISMA 2020 es una herramienta que además promueve la fácil reproducción de los estudios, permitiendo seguir los pasos de otros investigadores que ya llevaron a cabo un proceso establecido que gracias a la metodología fue detallado (Mishra & Mishra, 2023). Según estos autores, la reproducibilidad de las revisiones sistemáticas es una preocupación en el proceso de búsqueda académica contemporánea. PRISMA ayuda a resolver esta cuestión al proporcionar una estructura estándar que obliga a los autores a describir con detalle las bases de datos utilizadas, los filtros aplicados, los criterios de exclusión y exclusión, así como los procedimientos seguidos para realizar el análisis y síntesis. Esto fortalece la transparencia del proceso y permite a los investigadores replicarlo para futuras investigaciones.

Otra de las ventajas de PRISMA es que se puede aplicar a distintas disciplinas. Torres et al. (2024) tras analizar más de 200 revisiones en el área de enfermería, evidencian como resulta una mejora significativa de la calidad del reporte científico, después de aplicar los lineamientos PRISMA 2020. También se está extendiendo más allá del ámbito médico, como en el caso de Georgopoulos et al. (2023), que identificaron los factores que influyen en la adopción de la inteligencia artificial en el sector agrícola. Esto demuestra que la estructura de PRISMA 2020 es adecuada incluso para el análisis de temas emergentes de innovación y sostenibilidad.

### 3.4.1 Diagrama de flujo PRISMA 2020

La metodología PRISMA 2020 presenta además un diagrama de flujo que resume el proceso de descarte e inclusión de la documentación encontrada. Se basa en tres fases, como se puede observar en la figura 3.3, que son la identificación, el cribado, y la inclusión. En la etapa de identificación se debe presentar la cantidad de artículos encontrados después de aplicar la estrategia de búsqueda, y clasificar por fuentes. Es decir, si se buscaron mediante bases de datos o también por otros tipos de fuentes, y cuánta documentación fue encontrada en cada categoría.

Además, dentro de este punto se deben especificar la cantidad de artículos o documentos descartados antes del cribado, dividiéndolos por las diferentes razones. En el diagrama se ponen como ejemplo de estas razones la existencia de artículos duplicados, y otra categoría que engloba todas las demás razones que no son mencionadas explícitamente.

La fase de cribado incluye la lectura de los títulos y resúmenes de toda la documentación encontrada para verificar si cumplen con los criterios de inclusión, y si son relevantes para responder a la pregunta de investigación. En la parte de “Records screened” se debe mencionar el número de artículos de los que se leyeron el título y el resumen, además de los que se excluyeron al no cumplir los criterios establecidos. En “Reports sought for retrieval” se mencionan los documentos que sí cumplieron con estos criterios de inclusión.

La versión 2020 de PRISMA añade un nuevo punto, “Records not retrieved”, que se refiere a la documentación que, por diversos motivos, aunque se consideró relevante para la investigación después de leer los títulos y resúmenes, se descartó. Un ejemplo de estas razones puede ser que no se encontró el artículo para leerlo debido a su tipo de acceso. Aunque pueden existir diversas razones que cada investigador puede establecer.

Los documentos que se van a leer de manera total se colocan en “Reports assessed for eligibility”. En esta parte hay un apartado, donde va la cantidad de artículos que, después de leerlos de forma completa, se detectó que no son relevantes para la investigación. Aquí se especifican cuáles son estas razones. Finalmente, en la parte de inclusión, se especifican el número de documentación que se eligió para el estudio.

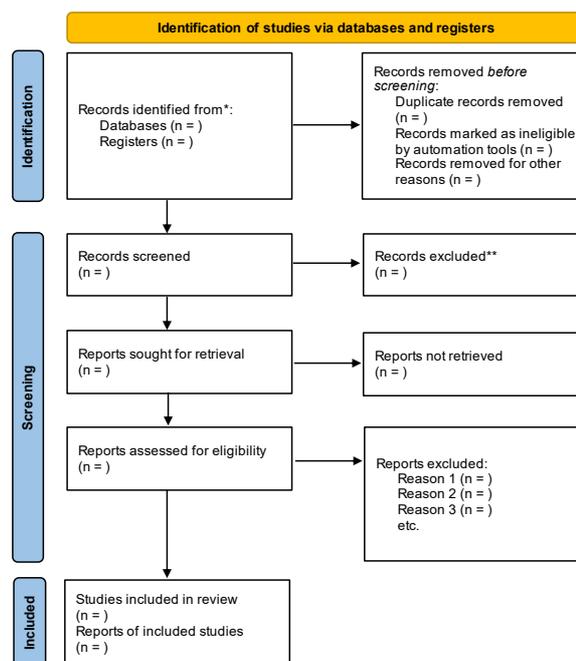


Figura 3.4. Diagrama de flujo PRISMA 2020. Fuente: Page et al., 2021

También existe una variación del diagrama principal, que debe utilizarse en caso de que el estudio no sea una revisión sistemática nueva, sino que sea una actualización de una investigación previa. Este diagrama se puede observar en la figura 3.5. En este caso, solo se deben incluir los recuadros grises en el diagrama si son aplicables para el caso (Page et al., 2021).

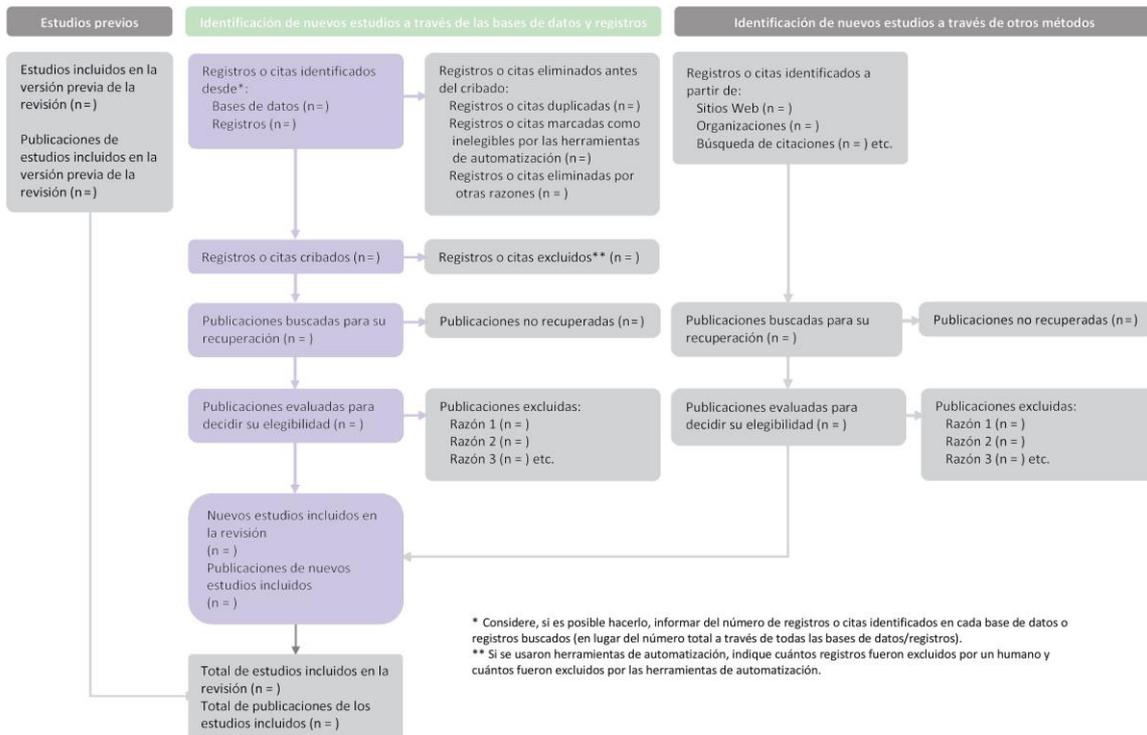


Figura 3.5. Diagrama de flujo PRISMA 2020 adaptado. Fuente: Page et al., 2021.

### 3.5 Revisiones sistemáticas sobre Learning Factories

Dentro de la literatura se han encontrado algunas revisiones sistemáticas relacionadas con la temática de Learning Factories.

Sudhoff et al. (2020) se centran en el análisis de las Learning Factories alemanas, mostrando como resultado de su estudio que la metodología ha incrementado su uso y popularidad en los últimos diez años, específicamente en diversos temas de ingeniería. Por medio de una encuesta cuantitativa, analizaron aspectos como la metodología de enseñanza aplicada, las técnicas de fabricación, los productos utilizados para enseñar el proceso productivo, y el software empleado. Finalmente propusieron una morfología para la clasificación sistemática de las fábricas de aprendizaje.

Kreß et al. (2021) se enfocaron en la investigación de enfoques de diseño en Learning Factories, identificando un total de 20, siendo el más citado el propuesto por Abele et al. Aunque algunos de estos enfoques contemplan una descripción detallada del contenido de enseñanza, detectaron carencias en otros como adaptación a las necesidades actuales. Por esta razón, concluyen que es necesario un enfoque que contemple el uso de tecnologías virtuales y comunicación remota en el diseño de las Learning Factories.

El tema de Lean aplicado a Learning Factories también ha sido estudiado. Sudhoff et al. (2020) afirman que la metodología de fábricas de aprendizaje es más efectiva en la enseñanza de Lean que los métodos tradicionales. Encontraron que la simulación y la gamificación son las técnicas que predominan entre los instructores para la enseñanza de los principios de Lean en los participantes. Además, encontraron que las últimas LF enfocadas en este tema se encuentran en Alemania, Austria y Croacia.

Otra revisión sistemática dedicada a la investigación de Lean Learning Factories es la de Witeck y Alves

(2024). Mediante artículos de Scopus encontraron que estas fábricas de aprendizaje con enfoque Lean existen en múltiples localizaciones alrededor del mundo, principalmente a través de instituciones académicas. También resaltan que, aunque la implementación de LF no debe ser tomada a la ligera por la gran necesidad de recursos, el efectivo aprendizaje de Lean que ofrece la metodología justifica su adopción. Además, los autores destacan que la replicabilidad de los entornos productivos está en alineación con los principios de la industria 4.0 y por lo tanto facilita el entrenamiento en esta área.

Carminati et al. (2024) se centran en el análisis de las habilidades blandas y técnicas necesarias para ser atractivos para las empresas sostenibles y con políticas de responsabilidad social. Esto con el fin de futuros desarrollos de programas educativos que puedan brindar a los participantes la adquisición de las competencias investigadas. En el mismo ámbito, Jing et al. (2023) investigan el efecto de las Learning Factories en las universidades para el desarrollo sostenible.

Esto parece indicar la existencia de una tendencia que tiene como objetivo el descubrimiento de la relación entre las Learning Factories y las habilidades y metodologías de enseñanza alineadas con la sostenibilidad. A partir de estas revisiones sistemáticas que las LF no solo influyen en la adquisición de competencias técnicas en los participantes, sino que también promueven habilidades alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En conjunto, estas revisiones sistemáticas han evolucionado de ser entornos para la obtención de habilidades técnicas a incorporar temas como sostenibilidad, y aplicar métodos de aprendizaje activos y un diseño adaptado a las necesidades de los participantes y del entorno actual exigente. Esta evolución responde a la necesidad de profesionales con capacidades tecnológicas y sostenibles del mundo industrial que ha provocado la Industria 4.0. Además, el enfoque Lean se consolida como un tema en tendencia en las Learning Factories, siendo una estrategia eficaz para la enseñanza de principios de mejora continua.

Según las revisiones sistemáticas encontradas, se detectan algunos vacíos de investigación que limitan la comprensión de su aplicación, entre estos se pueden mencionar:

- Falta de un análisis detallado de la distribución geográfica de las LF existentes: aunque en las revisiones sistemáticas se mencionan LF de Alemania y otros países europeos, es necesario expandir el estudio para incluir regiones menos exploradas.
- Grado de digitalización de las LF: este es un aspecto poco explorado dentro de las revisiones sistemáticas sobre fábricas de aprendizaje. Esto dificulta la evaluación del grado de modernización de LF, y su alineación con las tendencias tecnológicas que predominan hoy.
- Evaluación del impacto del aprendizaje: no siempre se identifica de manera clara de qué forma los instructores evalúan el aprendizaje de los participantes, y el impacto de este según su experiencia académica o profesional.
- Integración con tecnologías emergentes: si bien se destaca la alineación del diseño de las LF con los objetivos de la Industria 4.0, no se mencionan cuáles son las tecnologías de este ámbito que predominan en las LF.
- Identificación del público objetivo: en investigaciones previas, no se hace una diferenciación del público al que están dirigidas las LF. Esto dificulta la personalización del diseño y contenido de enseñanza según las necesidades de cada uno.
- Tipo de simulación: la modalidad de simulación tiene un escaso análisis en las revisiones sistemáticas. Aunque se menciona la necesidad de incorporar tecnologías en el diseño e implementación de las LF, es necesaria una clasificación detallada para así conocer las modalidades predominantes, sus características y las razones que justifican su elección en distintos contextos.

En conjunto, el presente trabajo contribuye a responder los vacíos de investigación detectados, ofreciendo una visión global sobre las fábricas de aprendizaje.



## 4 METODOLOGÍA APLICADA

### 4.1 Formulación de la pregunta de investigación

Para formular la pregunta de investigación se utilizó el marco CIMO, como se desarrolla a continuación:

- Contexto (C): Entornos formativos universitarios e industriales en áreas técnicas (Ingeniería). El estudio se centra en entornos cuyo fin sea la formación de estudiantes universitarios, el entrenamiento de trabajadores, o la combinación de ambas, para la adquisición principal de habilidades técnicas en el área de ingeniería, simulando un proceso productivo a escala.
- Intervención (I): se considera como intervención a la implantación de Learning Factories (LF). Estas fábricas de aprendizaje son el sistema que genera cambios en el contexto de los entornos de formación mencionados. Las LF han demostrado potencia en el desarrollo de habilidades técnicas gracias a la mezcla entre la cercanía a la práctica profesional y el aprendizaje activo.
- Mecanismo (M): Aprendizaje basado en simulación, experiencia práctica y digitalización. Estos elementos impulsan el aprendizaje de los participantes haciendo que posean una comprensión profunda de los temas de enseñanza determinados.
- Resultado (O): Adquisición de competencias técnicas, digitales y organizativas. Se espera que los participantes adquieran este conjunto integrado de competencias. Las técnicas pueden ser el diseño de productos y procesos industriales; las digitales resultan de la exposición a tecnologías de industria 4.0 y distintos tipos de software, y automatización de los procesos; y las organizativas se dan como consecuencia del trabajo en equipo y de la simulación del entorno industrial donde se asignan papeles correspondientes a diferentes áreas para la culminación del trabajo.

Así, la pregunta de investigación es:

***¿Qué evidencia existe en la literatura académica acerca de la implementación de Learning Factories en el mundo, y su relación con la adquisición de competencias técnicas, digitales y organizativas, mediante el aprendizaje basado en simulación, experiencia práctica o digitalización, en entornos formativos universitarios e industriales en áreas técnicas?***

El marco CIMO ha permitido una estructuración lógica de la pregunta de investigación, identificando los elementos principales que se tomaron en cuenta para el estudio. Así, hace más fácil la comprensión de estos elementos y la relación entre ellos.

### 4.2 Estrategia de búsqueda

#### 4.2.1 Base de datos

La base de datos escogida para llevar a cabo la revisión sistemática fue Scopus. Primero, debido a que presenta una mayor cantidad de filtros, lo que tiene como consecuencia más rigurosidad en el proceso de depuración. Por ejemplo, un filtro importante es el de la etapa de publicación, si es final o preliminar, lo que permite excluir documentos que no han sido revisado por pares. En segundo lugar, para garantizar una menor cantidad de artículos duplicados y así garantizar una mayor consistencia en la depuración de datos.

Otra de las razones por las que fue tomada esta decisión es la mayor cantidad de fuentes que abarca Scopus en comparación con WoS. Esta afirmación está comprobada por múltiples estudios. Las revisiones sistemáticas han tenido gran relevancia en investigaciones del ámbito médico. Destacando los aportes que ha tenido esta metodología para dicho ámbito, Powel y Peterson (2017) analizaron las publicaciones de enfermería de Scopus y WoS para comparar su calidad y cobertura de la documentación encontrada, y el

impacto según autores. Como resultado, se encontró que Scopus abarcó el 100% de las fuentes científicas, mientras que WoS el 82%, dando como conclusión una mejor representación de la literatura en la primera base de datos (Powell & Peterson, 2017).

En el caso del presente trabajo, y como se explicará de manera más detallada en las siguientes secciones, el enfoque será principalmente en el sector de la ingeniería. Gómez-Rosselli y Rosselli (2020) encontraron que Scopus ofrece una representación más amplia de publicaciones científicas colombianas de ingeniería en comparación con Web of Science, con un 27% de diferencia. Esto demuestra una utilidad relevante para revisiones sistemáticas de disciplinas técnicas.

Además, según un estudio basado en la comparación de 56 bases de datos y clasificando las búsquedas por disciplina, en el caso de ingeniería, Scopus incluye un 32% más de artículos que WoS (Gusenbauer, 2022). Esta diferencia también se repite en otras áreas técnicas como física e informática, lo que demuestra una mayor cobertura de Scopus en diferentes áreas incluidas también en la investigación actual. Por lo tanto, la elección de esta base de datos responde a su capacidad de obtención de una literatura científica más relevante en el campo ingenieril, no solo a criterios de funcionalidad y filtrado más avanzado.

#### 4.2.2 Palabras clave y términos de búsqueda

Uno de los términos que se probó fue “Learning Factory”, entre comillas para que obligatoriamente la búsqueda resultara en artículos que mencionaran ambas palabras. Esto limitaba la búsqueda. Daba como resultado una cantidad de artículos muy reducida lo que habría podido dar como consecuencia una menor cobertura del tema investigado y la pérdida de artículos de importancia para la revisión.

Por otro lado, los términos de búsqueda Learning Factor\*, utilizando el asterisco para incluir términos como factory, factories, entre otros, aumentaban los resultados de manera excesiva, y generaba una inclusión de artículos no relevantes para el trabajo, lo que no estaba dentro de los objetivos de este. Por lo tanto, se descartó esta estrategia.

Finalmente, se utilizaron métodos más precisos y que acotaran el volumen de documentación a un nivel adecuado. Las palabras clave utilizadas en el presente trabajo fueron Learning AND Factories con el fin de ampliar los resultados y tener un mayor alcance en los temas a seleccionar. Esto permitió recuperar únicamente artículos que en su título contuvieran los dos términos mencionados. Así, se aumentó la probabilidad de que los artículos buscados tuvieran una relación directa con el objeto de estudio.

### Start exploring

The screenshot shows a search interface with the following elements:

- Navigation tabs: Documents (selected), Authors, Researcher Discovery, Organizations.
- Search tips icon: Search tips ?
- Search within dropdown: Article title, Abstract, Keywords.
- Search documents field: Search documents \* LEARNING AND FACTORIES.
- Search options: + Add search field, + Add date range, Advanced document search >
- Buttons: Reset, Search Q.

Figura 4.1. Palabras clave utilizadas en la búsqueda

#### 4.2.3 Criterios de inclusión y exclusión

En la tabla 4.1 se resumen los criterios de inclusión en la etapa de búsqueda de la literatura.

Tabla 4.1 Criterios de inclusión en la búsqueda de la literatura

Categoría	Criterio de inclusión
Año de publicación	1980-2023
Área temática	Ingeniería, negocios, ciencias de la computación, física, ciencias de los materiales, química, ciencias de la decisión, ciencias ambientales, energía, bioquímica, economía, agricultura, ciencias planetarias, áreas multidisciplinares
Etapas de publicación	Final
Idioma	Inglés
Tipo de documento	Artículo
Tipo de acceso	Todos

Según la clase de documento, se limitó la búsqueda a artículos, excluyendo otras categorías como documentos de conferencia. Estos últimos, aunque son valiosos para conocer avances recientes en el tema de investigación, puede que no hayan pasado por un proceso exhaustivo de revisión y estén en etapas exploratorias aún. En cambio, los artículos publicados en revistas científicas ofrecen una mayor fiabilidad del contenido al estar revisados por pares y asegurar la confirmación de requerimientos más rigurosos y estrictos.

De acuerdo con los años de publicación se realizó la búsqueda de artículos desde 1980 hasta 2023. Se excluyeron el 2024 y 2025 debido a que los artículos publicados en estos años más recientes se encuentran todavía en revisión, lo que dificulta el conocimiento de su impacto dentro del campo de estudio. Se comenzó desde 1980 debido a que en el análisis preliminar se descubrió que la primera LF reconocida comenzó en 1994. Sin embargo, con anterioridad a este período hubo instituciones en Alemania que seguían esta metodología, previo a la acuñación formal del término. Por esta razón, se amplió de manera ligera el periodo anterior a 1994 para explorar posibles casos de esta índole, sin una extensión innecesaria hacia otras décadas pasadas donde el campo de estudio no era relevante aún.

Con respecto a la etapa de publicación, se limitó la búsqueda de artículos únicamente a los que estuvieran en su etapa final, excluyendo los Article in Press. Se realizó esta exclusión debido a los artículos cuya etapa es Article in Press, aunque hayan sido revisados por pares y su aprobación en una revista científica esté validada, su contenido puede estar sujeto a cambios. Y tampoco tienen asignado el número de páginas en la revista, o incluso el volumen. De esta manera, se analizaron artículos que pudieran ser citados correctamente y con la seguridad de que no haya variabilidad en su contenido.

El idioma escogido fue el inglés debido a que es el más utilizado internacionalmente en publicaciones científicas, por lo que se llegó a la conclusión de que si un artículo fue publicado en ese idioma es porque tenía como objetivo tener un alcance a nivel global, resultando así en un contenido más relevante, asegurando una cobertura más amplia. Esta lengua predomina principalmente en áreas como ingeniería, tecnología, y educación universitaria, que están también entre las áreas de interés en este trabajo.

Así, el área temática fue uno de los filtros más importantes. Aunque se tiene un mayor interés en el área de ingeniería también se incluyeron áreas adyacentes como negocios, ciencias de la computación, física, ciencias de los materiales, química, ciencias de la decisión, ciencias ambientales, energía, bioquímica, económica, agricultura, ciencias planetarias y áreas multidisciplinares. La inclusión de estos temas se debió

a la relación que tienen con la aplicación en sistemas productivos e industriales y la innovación de tecnología dentro de estos, aspectos relevantes en el estudio de las LF.

Se excluyeron áreas de enfermería, odontología, artes y humanidades, psicología, neurociencia, inmunología y microbiología, farmacología, profesiones de la salud y veterinaria. Estas últimas no se consideraron relevantes debido a la naturaleza del máster en logística estudiado. Además, la escasa relación con los objetivos de investigación fue motivo suficiente para su descarte. Por lo tanto, la delimitación de las áreas de investigación permitió un enfoque adecuado hacia los intereses técnicos del estudio.

Por último, se eligió no limitar la investigación a artículos de acceso abierto. Algunos de los artículos con mayor relevancia se encuentran bajo plataformas de suscripción pagas, ya que pertenecen a revistas científicas con un mayor prestigio. Siempre que se tenga acceso mediante la utilización de las credenciales educativas en estos sitios, se incluyeron en la revisión. Así, no se restringió la calidad ni la diversidad de las fuentes escogidas.

### **4.3 Evaluación y selección**

Al analizar los títulos y resúmenes de cada artículo, al igual que en la etapa de lectura de los artículos escogidos, fueron definidos los criterios a continuación:

#### **4.3.1 Criterios de inclusión:**

- La existencia de un entorno de aprendizaje físico, virtual o híbrido debe ser mencionado en el artículo. Además, este debe ser una simulación de entornos industriales o procesos dentro de este ámbito, lo que corresponde a la definición de LF.
- La enseñanza debe ser dirigida a participantes activos, ya sean estudiantes o trabajadores.
- Deben ser implementaciones reales de buenas prácticas, no conceptos que aún no son aplicados.
- Existe una evaluación de la implementación de la LF. Es decir, una medición de la efectividad de la metodología aplicada, y su comprensión en los participantes.
- Algunos artículos, aunque no utilizaran de manera explícita el término Learning Factory pero que aplicaron esta metodología y cumplieron con los criterios anteriores, fueron incluidos en la búsqueda.

#### **4.3.2 Criterios de exclusión**

Los artículos revisados se descartaron de la investigación si cumplieron con la pertenencia a alguno de los siguientes puntos:

- Explicaciones de la implementación de tecnologías de industria 4.0 en entornos productivos o académicos, sin el objetivo de utilizarlas para simular un proceso productivo.
- Presentación de marcos conceptuales de implementación de LF, sin mencionar en el artículo un entorno físico o virtual existente.
- Falta de evaluación o análisis de la efectividad del aprendizaje de los participantes después de la aplicación de la metodología.
- Ambigüedad en los requerimientos para entrar dentro de la categoría de LF. Posibilidad de que se acerque más a otra metodología de enseñanza, aunque sea similar.

#### 4.4 Proceso de selección de artículos

Después de aplicar la estrategia de búsqueda explicada en la sección anterior, en la etapa de identificación se encontraron 1926 artículos que podían ser relevantes para la investigación. Al leer los títulos y resúmenes, durante la fase de cribado, se excluyeron 1893 artículos que no parecían tener relación con el tema de las Learning Factories o que no cumplían los criterios de inclusión y exclusión.

Se consideraron 33 artículos relevantes después de leer el resumen de cada uno, pero al no contar con un acceso para su lectura completa y no encontrarse disponible de manera online, se descartaron. Esto se evidencia en la parte del diagrama llamada "Reports not retrieved". Finalmente, se leyeron 26 artículos de manera total, de los cuales siete no correspondían a Learning Factories implementadas, sino a propuestas conceptuales; un artículo explicaba la aplicación de una tecnología en un entorno productivo, pero sin fines de enseñanza ni participantes activos; y dos de los artículos aplicaban otra metodología de enseñanza, que, si bien cumplía con ciertos requisitos de inclusión, no eran LF. De esta manera, se incluyeron en la revisión sistemática una cantidad de 16 artículos.

Para resumir este proceso de forma gráfica, se utilizó el Diagrama Prisma 2020, como se puede observar en la figura 4.2.

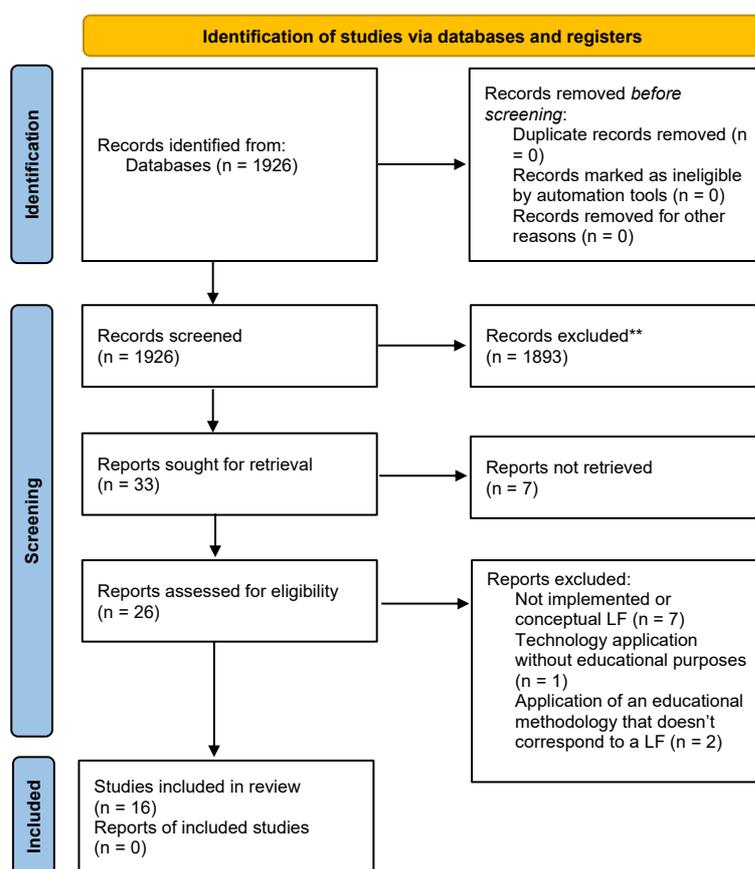


Figura 4.2. Diagrama de flujo de la revisión sistemática

Así, se definieron los aspectos a considerar. Los datos se sintetizaron mediante una tabla en Excel que incluyó todos los aspectos mencionados. Esta se puede observar en el anexo 1. Se consideraron de importancia:

- La distribución geográfica: se documentó por país y continente, lo que permite visualizar la concentración geográfica de las iniciativas estudiadas basada en estos dos aspectos.
- El año de implementación de la LF: se incluyó para establecer relaciones entre diferentes periodos

de tiempo y otros aspectos como el tema de enseñanza y el tipo de simulación.

- El tema de enseñanza: es el enfoque principal que tiene cada Learning Factory. Por ejemplo, Lean Manufacturing o Industria 4.0.
- El tipo de simulación: que puede ser física, virtual o híbrida.
- Si existe aplicación de la industria 4.0: es importante para poder mencionar posteriormente las tecnologías utilizadas.
- El público objetivo: este que se divide en estudiantes, trabajadores o mixto.

En la figura 4.3 se puede observar un extracto de la tabla mencionada.

No.	Artículo Título	Autor/es	Nombre de la Learning Factory	País	Continen te	Año de Creación	Tema de Enseñanza	Aplicación de Industria 4.0/5.0 (Sí/No)	Público Objetivo	Tipo de Simulación	¿Está Digitaliza da?
1	The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning	(Lamancusa et al., 2006)	The Learning Factory	E.E.U.U.	América	1994	Desarrollo de productos y manufactura	No	Estudiantes	Física	Sí
2	Total Immersion: Hands and Heads-On Training in a Learning Factory for Comprehensive Industrial Engineering Education	(Jaeger et al., 2013)	Physical simulation of automated factory	Australia	Oceania	1997	Diseño de sistemas de manufactura	No	Estudiantes	Física	No
3	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	The Training Factory for the Electronics Industry	Finlandia	Europa	2001	Gestión y operación de líneas de producción	Sí	Trabajadores	Híbrida	Sí
4	Introducing fundamental concepts of	(Fang y	OPlearningfactory	Alemania	Europa	2007	Lean Manufacturing	Sí	Trabajadores	Híbrida	Sí
5	Simulating business and operations management: a learning environment for the electronics industry	(Haapasalo y Hyvonen, 2021)	LPS Learning Factory	Alemania	Europa	2009	Industria 4.0, talleres Lean	Sí	Mixto	Física	No
6	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	LF Wayne State University	E.E.U.U.	América	2010	Diseño mecánico	No	Estudiantes	Física	No

Figura 4.3. Síntesis de los datos extraídos de la literatura

## 5 ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS

El análisis se estructuró según el marco CIMO, en línea con la pregunta de investigación establecida. Dentro del Contexto (C) se analizaron aspectos como localización geográfica, público objetivo y sector de aplicación. En la Intervención (I): modalidad (física, digital, híbrida), tecnologías aplicadas. De los mecanismos (M), se detalla de qué manera se genera el aprendizaje (simulación, trabajo colaborativo, problemas reales). Y en los Resultados (O): qué competencias se desarrollan, cómo se evalúa la efectividad, y el impacto observado.

Los 16 artículos con los aspectos analizados se presentan en el Anexo 1. Esto hace que el total de LF sean 18 Learning Factories, ya que dentro del artículo Learning factories for complex competence acquisition se mencionan 4 de las LF estudiadas.

### 5.1 Contexto

#### 5.1.1 Distribución geográfica de las LF

Es de suma importancia analizar la localización geográfica de las LF implementadas debido a que así se puede conocer, de acuerdo con la literatura, la zona o región líder en su adopción y desarrollo. Además, es posible identificar un patrón que explique las razones de concentración en ciertos países o continentes. Ejemplos de estos aspectos pueden ser el nacimiento de la metodología de LF en Europa, los programas de desarrollo económico en Oriente Medio, o la rápida invención y digitalización en Asia. Además, se puede comprender cómo factores como la colaboración entre universidades y empresas, o entre múltiples instituciones educativas, influyen en el desarrollo de las LF.

De acuerdo con la literatura revisada, clasificándola por continente, Europa lidera la implementación de LF con un 13 LF. Esto representa una gran diferencia comparándolo con las demás regiones. Le sigue Asia con un 2 y América con la misma cantidad, mientras que Oceanía es el continente con menor implementación de LF, con un 1 LF implementada. Esto se puede observar en la figura 5.1 a continuación.

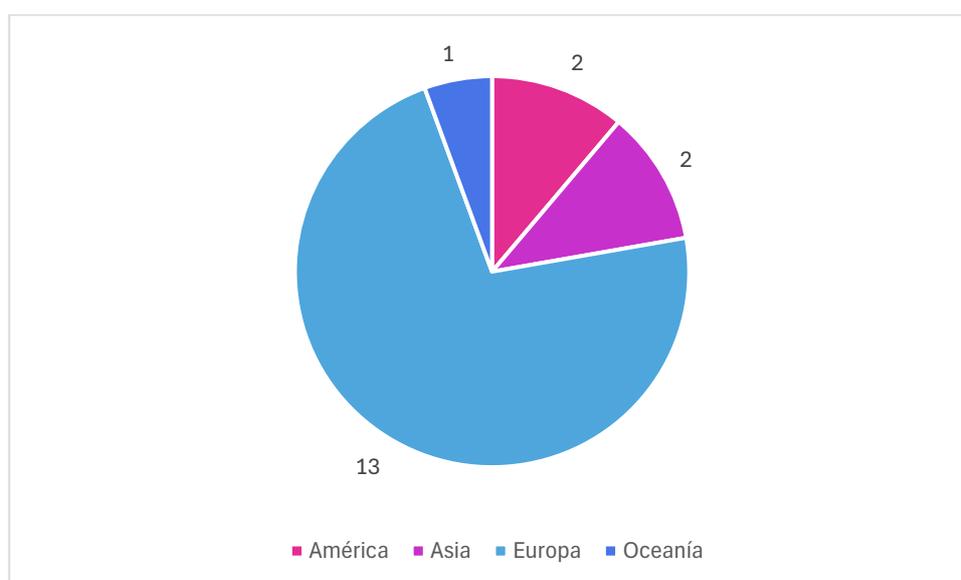


Figura 5.1. Distribución geográfica de las LF por continente

Asia tiene el segundo lugar en implementación de LF. Algunas de las LF tienen acuerdos con otras instituciones para replicar su modelo y funcionamiento en otros países. Este es el caso de la KIT LF, que cuenta con una LF gemela en China, lo que fue descubierto en el análisis preliminar del presente estudio. Esta versión asiática adapta la configuración y también el producto realizado en la LF alemana al contexto industrial asiático (Abele et al., 2019). Esto permite a los participantes formarse de acuerdo con las necesidades del mercado y las cadenas de suministro locales. Además, fortalece la colaboración global de instituciones tanto académicas como productivas y permite la adaptación de un mismo concepto de LF en distintos entornos productivos, con requerimientos diferentes.

También en Asia, la presencia de una LF en Israel y que esta se enfoque en sistemas de información, como se analizará en secciones siguientes, demuestra la relación directa entre las inversiones que siempre ha realizado este país en educación y nuevas tecnologías, y el desarrollo en educación que da como resultado. Además, refleja como los gobiernos con políticas de innovación y las empresas locales, fomentan la creación de infraestructuras como las Learning Factories. El gobierno israelí fomenta el desarrollo y refuerzo de su sistema educativo mediante iniciativas gubernamentales que mejoran su acceso y calidad en distintas zonas del país (ETF, 2023).

Con respecto a América, ambas LF encontradas en la literatura son originarias de Estados Unidos. Esto no representa una sorpresa ya que una de ellas es la considerada la primera LF implementada en la historia, la LF de la Penn State University, y la otra es una réplica de esta con un enfoque especializado al área de la ingeniería mecánica. Este hecho evidencia el papel que tiene el país americano de ser pionero en el desarrollo de metodologías de aprendizaje adecuados para la simulación de entornos industriales.

Con un enfoque en el continente líder, Alemania es el país con mayor cantidad de LF implementadas, como se puede observar en la figura 5.2. Esto tiene sentido ya que en el análisis preliminar se encontró que es uno de los pioneros en el desarrollo de LF para la enseñanza y entrenamiento de habilidades técnicas en entornos industriales. Además, Alemania cuenta con un historial sólido de colaboraciones entre empresas, universidades y el gobierno regional, lo que facilita la inversión en infraestructuras educativas avanzadas tecnológicamente. Esto además les otorga una ventaja competitiva a los estudiantes de ingeniería alemanes, recalcando la preferencia por parte de las empresas de dichos ingenieros debido a sus competencias técnicas adquiridas.

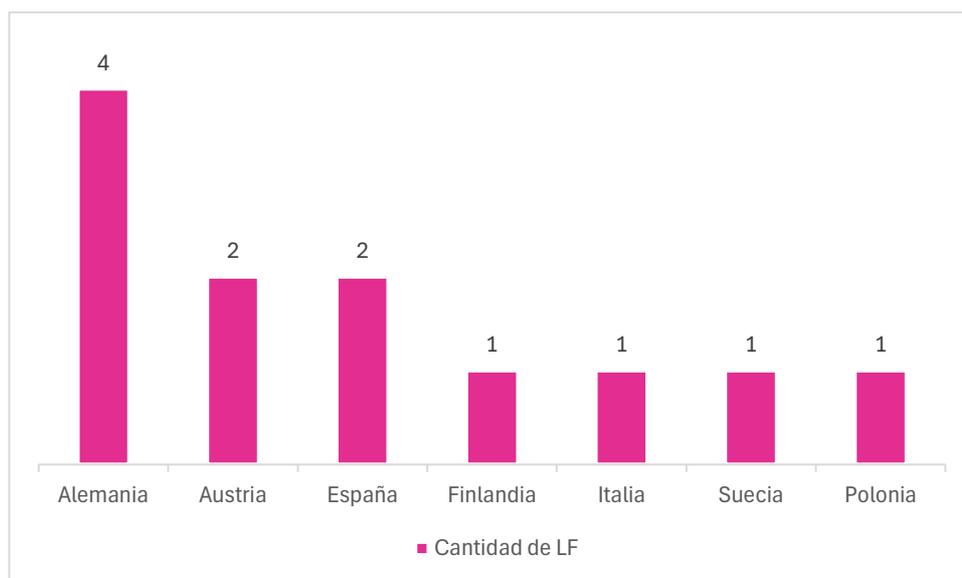


Figura 5.2. Distribución geográfica de LF por país europeo

En el caso de España, el entorno de la(s) institución(es) fundadora(s) de la LF beneficia la colaboración con

empresas. Un ejemplo de este caso es La Escuela Lean, un laboratorio dedicado a la enseñanza de Lean Manufacturing, fundado por la UVa y Renault, para el entrenamiento tanto de estudiantes como de trabajadores de Renault y otras instituciones (Gento et al., 2020). El entorno en el que se encuentra la universidad facilita dicha colaboración ya que se encuentra en una provincia con múltiples empresas manufactureras del sector de la automoción. Por lo que la formación en filosofía Lean es relevante y permite alinear el contenido académico con las necesidades reales de la industria local, y dando una mejor preparación a los estudiantes para su futura inserción laboral.

Se nota una ausencia de LF en la literatura en regiones como América Latina y África. Algunos artículos en estas regiones fueron encontrados durante la revisión, pero finalmente fueron descartados debido a que no representaban una implementación, sino un desarrollo de conceptos que aún se encuentran en etapas iniciales. Aunque no figuren dentro del trabajo, esto demuestra que países en vías de desarrollo están realizando intentos por implementar LF en el futuro. Barreras económicas y tecnológicas en estas regiones pueden ser razones para la falta de implementación actualmente.

Además, la LF de la Penn State University en Estados Unidos, menciona que ha realizado conferencias en países de América Latina, para difundir la existencia de esta metodología e impulsar a su consecución. Estas tienen el objetivo de aumentar la cantidad de ingenieros y la calidad de sus habilidades, en países como Panamá, México, Ecuador, Argentina (Lamancusa et al., 2008).

Finalmente, el análisis demuestra una concentración mayoritaria de LF en Europa, especialmente Alemania, siendo este el país pionero de la metodología. Sin embargo, adaptándose a sus modelos educativos e industriales, regiones como Asia y Medio Oriente comienzan a desarrollar iniciativas propias. En cuanto a América, en la literatura analizada predomina Estados Unidos; y en Oceanía, Australia representa a su continente con la única LF analizada. En la figura 5.3 se representa la concentración:

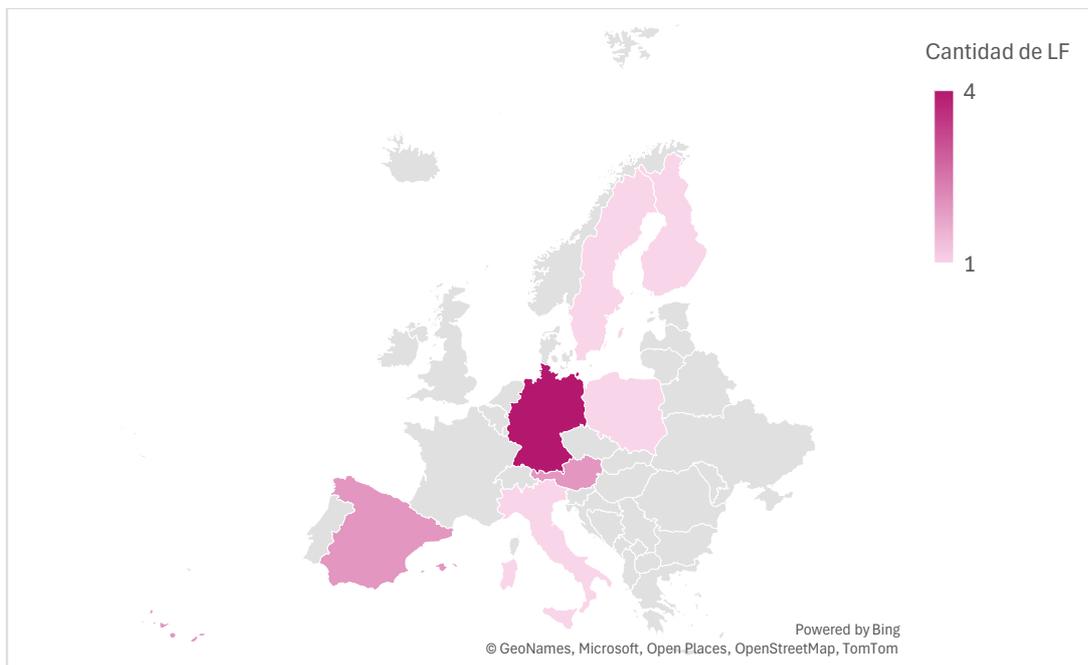


Figura 5.3. Concentración europea de LF

### 5.1.2 Público objetivo

Otro de los puntos clave analizados en la literatura fue el público objetivo de las LF. Los estudiantes son el público al que están dirigidas la mayoría (9) de las Learning Factories estudiadas, como se muestra en la figura 5.4. Esto puede deberse a que la mayoría de las instituciones que implementan la metodología son universidades. Aunque sea dirigida hacia trabajadores, que es el caso de 5 de las LF analizadas,

generalmente son las instituciones educativas en colaboración con las empresas las que desarrollan y adaptan los métodos necesarios para que los participantes tengan un aprendizaje efectivo. Al menos en esta investigación se confirma este punto.

También existen LF (4) que están dirigidas tanto a estudiantes como a trabajadores. Esto se da para aprovechar los espacios desarrollados, y para el beneficio de más entidades. En algunos casos, existen colaboraciones universidad-empresa, donde las empresas apoyan en el ámbito financiero donando recursos, y en cambio los descubrimientos y soluciones que sean resultado de la metodología puedan servir de información para mejorar sus procesos. Además, los trabajadores se benefician de una formación que mejora sus habilidades existentes, facilitando su aplicación en el entorno laboral.



Figura 5.4. Público objetivo de las LF

La LF de la Universidad de Wollongong, en Australia es un ejemplo del porcentaje mayoritario de esta sección. Está dirigida a estudiantes de primer año de ingeniería mecánica. Según Fang & Shivathaya (1997), el involucramiento de los estudiantes de ingeniería en simulaciones de sistemas industriales es esencial para su desarrollo profesional, complementando su conocimiento conceptual con habilidades prácticas, en especial para aquellos que son recién egresados o no tienen experiencias previas laborales en esta área. Entre las competencias técnicas adquiridas una vez culminada la experiencia mencionan análisis del punto de equilibrio, utilización de capacidad y sus efectos en diferentes layouts de fábricas (Fang & Shivathaya, 1997).

Por otro lado, la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid en España, es un ejemplo de cómo la colaboración universidad – industria da como resultado proyectos beneficiosos no solo para los estudiantes sino también para las empresas, al formar a tanto a trabajadores actuales como a futuros posibles trabajadores (Gento et. al., 2020).

Al mismo tiempo, la formación de la Escuela Lean beneficia a trabajadores de otras industrias. Gracias a este proyecto conjunto, pueden conocer e implementar buenas prácticas que no pertenecen a su industria pero que se pueden adaptar en sus propios entornos productivos. Se favorece así la mejora continua y la eficiencia en diversos entornos industriales.

Aunque generalmente las LF están dirigidas a la formación de estudiantes, también existen casos donde el enfoque principal es el entrenamiento de trabajadores, como es el caso del Lean Lab. Este estudio tuvo como objetivo la enseñanza de principios Lean a trabajadores de distintas compañías en Austria. Adam et al. (2020) resaltan la importancia de un buen diseño de entrenamiento a los colaboradores, tomando en cuenta su área de trabajo y nivel de educación. Es decir, si pertenecen a dirección, oficinas o a producción, ya que de esto depende su comprensión y enfoque de aplicación del Lean. Además, es importante que a

personas de más alto nivel operativo se les recalque el uso de Lean en manejo de flujos de información, mientras que a los demás en el flujo de materiales (Adam et al., 2020).

## 5.2 Intervención

### 5.2.1 Tema de enseñanza

Los temas de enseñanza se agruparon dentro de cinco categorías: Lean Manufacturing/Management, Industria 4.0 y tecnologías digitales, gestión y diseño de procesos de fabricación, desarrollo de productos, e integración Lean e Industria 4.0. La categoría de Industria 4.0 y tecnologías digitales está formada por temas como Internet de las Cosas (aplicado tanto a la manufactura como a la eficiencia energética, sistemas de información, entre otras tecnologías. Mientras que la categoría de Integración Lean e Industria 4.0 fue creada debido a la dualidad de temas en algunas Learning Factories, que combinan la enseñanza de Industria 4.0 con talleres Lean, y también el desarrollo de productos con el Lean Manufacturing. Esta agrupación, y la cantidad de LF en cada categoría se pueden observar en la figura 5.5.



Figura 5.5. Clasificación de LF por temas de enseñanza

La mayoría de las Learning Factories estudiadas se enfocan en la enseñanza de Lean Manufacturing/Management. Según Adam et al. (2020), cada vez más las habilidades de mejora continua y conocimientos en Lean son las más buscadas por las instituciones empresariales. El segundo tema de enseñanza en el que más se enfocan las LF según la literatura analizada es Industria 4.0. Y aunque solo se encontró una LF que integra ambos enfoques, esto demuestra que los temas que más se están enseñando a los participantes de las fábricas de aprendizaje están en concordancia con las necesidades actuales de las empresas.

En menor medida, se encontró que también existen enfoques en tecnologías avanzadas de fabricación, y en desarrollo de productos y procesos. Estos temas, aunque son menos frecuentes, de igual manera aportan un valor significativo al permitir que los estudiantes comprendan y apliquen conceptos de la gestión eficiente del ciclo de vida de un producto, que es un tema esencial en las empresas. Así, se complementan y amplían las competencias de las LF que se concentran en temas más tecnológicos.

#### 5.2.1.1 Lean Manufacturing/Management

Dentro de la categoría de Lean se encontraron 6 Learning Factories. Dos de ellas son alemanas, la CiP Learning Factory y la Learning Factory for Global Production. La primera es desarrollada por la TU Darmstadt, una de las universidades reconocidas por ser pionera del desarrollo, creación e implementación

de diversas Learning Factories. Esta fábrica de aprendizaje combina la enseñanza de Lean Manufacturing y Lean Management (Pittich et al., 2019), lo que ofrece un valor agregado a los ingenieros para que no solo aprendan sobre aspectos técnicos sino también de dirección.

De acuerdo con Pittich et al. (2019), Learning Factory for Global Production de KIT se enfoca en la comprensión de los requerimientos productivos, específicamente en redes globales. Este es un tema innovador ya que otras de las Learning Factories analizadas solo se enfocan en la enseñanza de un tema técnico, mientras que al terminar la experiencia de esta LF los participantes adquieren una visión de lo que implica una manufactura a nivel de una cadena de suministro global. Según Fuertes et al. (2023), el objetivo es crear conciencia sobre los requerimientos globales de la producción.

Otra LF que enfoca el Lean a la parte de gestión al igual que la Learning Factory CiP, es el Lean LAB, en Austria. Se centra en enseñar los principios básicos de Lean a trabajadores de diferentes niveles en la jerarquía de la empresa. Esto lo hace a través de una configuración de producción de siete pasos, que comprende desde la manufactura al ensamblaje (Adam et al., 2020).

Con un enfoque en logística, dentro de la Logistics Learning Factory en China, los estudiantes mejoran sus conocimientos en Lean mediante el diseño del layout de un entorno de producción y su posterior mejora (Fu, 2017). En la Escuela Lean en España, también se utiliza la estrategia de diseñar distintos tipos de layout según las necesidades de la producción (Gento et al., 2020). Esto demuestra como el Lean se puede aplicar a distintos sectores dentro de una empresa. Además, permite a los estudiantes comprender como los principios Lean como la mejora continua y la reducción de desperdicios se pueden aplicar a la optimización de operaciones logísticas como preparación de pedidos, y operaciones de almacenamiento.

#### **5.2.1.2 Industria 4.0 y tecnologías digitales**

Algunas Learning Factories existentes, son adaptadas a las necesidades de formación actuales como lo son las tecnologías de la Industria 4.0. Un ejemplo de actualización de sistemas existentes a entornos formativos modernos es la LF de la Universidad de León, España, que consta de célula electroneumática para la clasificación de piezas. Fue actualizada a los paradigmas de la industria 4.0 para el entrenamiento de estudiantes de ingeniería, en tecnologías de la industria. Las tecnologías aplicadas a este entorno son automatización, integración de sistemas, simulación, conectividad, ciberseguridad y computación en la nube (Fuertes et al., 2023).

Según Fuertes et al. (2023), esta LF cuenta con un gemelo digital del sistema real, por lo que se considera digitalizada. Esto permite la simulación del funcionamiento real de la fábrica en una computadora o en un dispositivo móvil con realidad virtual. Así, los estudiantes pueden visualizar el proceso y cambiar los parámetros que les parezcan adecuados para mejorarlo y comparar datos generados por el sistema. De esta manera se da un aprendizaje visual e interactivo utilizando herramientas de la Industria 4.0.

El laboratorio MIT en Israel es otro claro ejemplo de la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0. Además de la utilización de RFID en su estación logística, y máquinas semi y totalmente automatizadas, incluye una infraestructura tecnológica con sistemas MES (Manufacturing Execution Systems), Inteligencia de Negocios y fue modelado mediante el software Team Center y Process Simulate, simulando el entorno de fabricación real (Naveh et al., 2015). Según Naveh et al. (2015), los datos generados por las estaciones con automatización se integran con la infraestructura digital, lo que permite una detección de tendencias y análisis de las operaciones. Por lo tanto, esta LF tiene un tipo de simulación híbrida, ya que presenta un entorno físico con una extensión virtual que analiza los datos en generados en tiempo real.

SensoriZAR, por su parte, tiene un tipo de simulación de tipo híbrido al combinar el entorno real, que son los edificios principalmente universitarios en Zaragoza, con sensores físicos ubicados en sectores concretos para la medición de parámetros como temperatura y humedad; con el análisis y modelado digital de datos mediante IoT. Los datos recolectados mediante los sensores son procesados y analizados mediante modelos de predicción basados en redes neuronales, lo que implica una infraestructura virtual de modelado de los edificios.

El Smart Factory Laboratory en Polonia, utiliza como tecnología central la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en el ensamblaje de productos. Consta de una extensión totalmente digital, que duplica la infraestructura física y con la que los colaboradores pueden adquirir conocimientos del funcionamiento real de entornos productivos, utilizando lentes de realidad virtual (Zawadzki et al., 2020). También mantiene en su entorno físico una línea de producción automatizada y un almacén con tecnología RFID.

Otra de las LF que utiliza la realidad virtual, pero orientada principalmente a estudiantes, es la 4.X Learning Factory. Surgió como una colaboración entre Karlsruhe University of Applied Sciences, Karlsruhe Institute of Technology (KIT) y Karlsruhe University of Education. Aunque su enfoque es el desarrollo de productos, también abarca temas como economía y ciencias de la información (Pittich et al., 2019). Como se puede observar en la figura 5.8, es una LF virtual que permite, a través del software PolyVR la introducción de los estudiantes a la realidad virtual, y al mismo tiempo formar parte de un equipo interdisciplinario de manufactura de un producto (Karlsruhe Institute of Technology, n.d.).

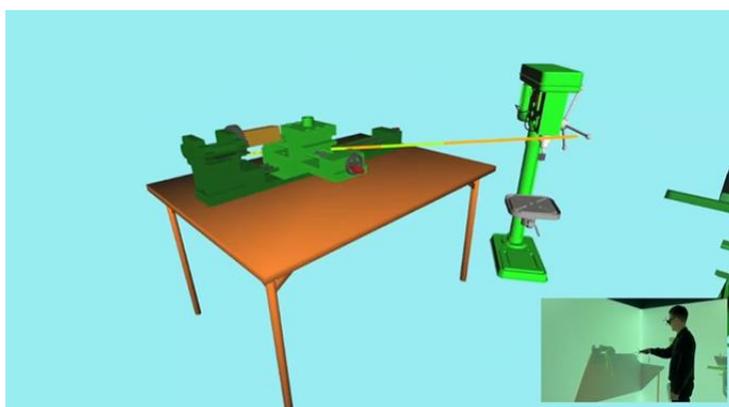


Figura 5.6. Realidad virtual en la KIT Learning Factory. Fuente: Information Management in Engineering at KIT, 2024.

Dentro de este apartado de industria 4.0, existen algunas LF que aplican tecnologías en el ámbito de la sostenibilidad, aunque no sea su foco principal. La Universidad de Zaragoza, convierte edificios universitarios en LF mediante la implementación de sistemas de Internet de las Cosas, con el fin de analizar la eficiencia energética y la calidad del aire de estos. La selección de edificios para el análisis de requerimientos, la elección de espacios representativos para monitoreo, y la implementación de la infraestructura de y configuración del ecosistema IoT, son las tres fases de su metodología (Cano-Suñén et al., 2023). Como resultado, Cano-Suñén et al. (2023) mencionan que el uso de Internet de las Cosas es un método económico en comparación con otros, para la recolección de datos en tiempo real mediante sensores, para la toma de decisiones basada en datos.

Esta LF llamada SensoriZAR es también un caso claro de la combinación de temas de actualidad como lo es la sostenibilidad, y la implementación de tecnologías de la industria 4.0. Esta experiencia permite a los estudiantes convertirse en profesionales preparados para los retos relacionados con la energía del futuro, desde un punto de vista tecnológico, aplicando análisis de datos y diseño y programación de ecosistemas de IoT. Y dando así un paso más hacia las comunidades inteligentes.

Aunque la sostenibilidad no es el foco principal en la LF de la Universidad de Nápoles, los estudiantes aplicaron Internet de las cosas, utilizando drones para medir niveles de polución en ambientes agrícolas (Angrisani et al., 2020). La integración de conocimientos técnicos con una perspectiva medioambiental fue uno de los resultados de este estudio. Esto evidencia la capacidad de las LF para adaptarse a los retos emergentes de la sostenibilidad, incluso cuando este no sea su objetivo número uno, demostrando así su flexibilidad e innovación.

### 5.2.1.3 Integración de Lean e Industria 4.0

Existen Learning Factories que combinan temas de enseñanza como Lean e Industria 4.0. Esta dualidad es importante, en especial a la adaptación requerida de las empresas debida a los avances y retos de los últimos años. La combinación de los dos temas es complementaria, ya que además de la implementación de tecnologías en los procesos de fabricación, es importante reconocer los desperdicios y eliminarlos. Para esto se necesitan profesionales entrenados para este fin.

En este apartado se encontró una Learning Factory en la literatura que integra los dos temas. Es la LPS Learning Factory, en Alemania. En los últimos años se ha concentrado en su adaptación a la Industria 4.0, aunque al principio se concentrara solo en temas como optimización de procesos y recursos (Pittich et al., 2019). Además, con un enfoque adicional a la gestión de las empresas, integra la enseñanza de industria 4.0 con la impartición de talleres Lean a estudiantes y profesionales. Esta LF fue encontrada también en el análisis preliminar, donde Abele et al. (2019) mencionan la utilización de robótica industrial, por lo que aborda la colaboración entre humanos y sistemas robóticos.

### 5.2.1.4 Gestión y diseño de procesos de fabricación

En la LF Simulación física de una fábrica automatizada, en Australia, como su título lo menciona, su tema principal de enseñanza es la automatización de procesos industriales. Consta de una simulación física a escala formada por una línea de procesamiento de tres estaciones (mecanizado, taladrado y mandrinado), un sistema de almacenamiento, y cintas transportadoras y sensores, conectados a través de una microcomputadora mediante un controlador programado (Fang & Shivathaya, 1997).

La LF de la Wayne State University, también se enfoca en esta área, aunque sin aplicación de tecnologías emergentes. Este caso se enfoca en la adquisición de habilidades prácticas en el proceso de manufactura, desde el diseño hasta la planificación y fabricación de un modelo funcional de motor (Ssemakula et al., 2010). Así, los estudiantes logran comprender mediante la metodología de aprender haciendo, el ciclo de vida de un producto mecánico.

Con un enfoque más tecnológico, la Learning Factory de la Universidad de Oulu en Finlandia se centra en la enseñanza a los participantes de los procesos que involucran a un producto en una línea de producción, y la utilización de máquinas y equipamiento industrial para la fabricación de productos reales, específicamente del sector electrónico (Haapasalo & Hyvonen, 2001). Además, mediante software MES, los participantes analizan el flujo de información obtenido. Así, no solo aprenden a operar los sistemas productivos, sino que también se involucran en su gestión integral.

Estos temas se asocian más a Learning Factories implementadas en décadas pasadas. En conjunto muestran diferentes niveles de integración tecnológica, aunque limitada por su época de implementación. Aun así, son temas básicos que aportan conocimientos que mínimamente deben tener los profesionales en el área de la ingeniería.

### 5.2.1.5 Desarrollo de productos y procesos

La primera Learning Factory en este apartado es la Learning and Innovation Factory for Integrative Production Education, de la Universidad de Tecnología de Viena, en Austria. Dentro de ella, los estudiantes trabajan en un proyecto que comprende el ciclo de vida de un producto, desde la ideación hasta a fabricación de este con la ayuda de impresoras 3D y máquinas de corte láser (Jaeger et al., 2013). Otra de las LF que se centran en el desarrollo de productos es la LF de la Penn State University, considerada como la primera de su tipo. En sus orígenes tenía como eje principal el desarrollo de productos con orientación al mercado, y el diseño de productos tomando en cuenta las necesidades del cliente (Lamancusa et al., 2006).

La tercera Learning Factory que se enfoca en el desarrollo de productos y procesos es la 4X Learning Factory en Alemania. En comparación con las dos LF anteriormente mencionadas, la 4X Learning Factory tiene un

enfoque más integral al orientar de manera interdisciplinaria a los participantes abarcando áreas como ingeniería, economía y ciencias sociales (Pittich et. al, 2019). Además, según Pittich et. al. (2019), tiene un valor agregado con el uso de tecnologías para visualizar de mejor manera el proceso. A través de su orientación a conectar múltiples disciplinas, busca hacer que los estudiantes comprendan los desafíos asociados al diseño y desarrollo de productos.

### 5.2.2 Modalidad (física, digital, híbrida)

Las modalidades utilizadas en las Learning Factories investigadas son física, digital e híbrida. La modalidad física se refiere a aquella en la que el entorno de simulación se realiza mediante herramientas que se encuentren en un entorno totalmente físico, como el uso de máquinas, líneas de producción, estaciones de trabajo reales, y materiales tangibles para llevar a cabo la dinámica. Este tipo de modalidad permite a los estudiantes adquirir habilidades técnicas y prácticas, facilitando la colaboración en equipos, en un entorno fielmente replicado de entornos industriales.

La modalidad digital se refiere a LF que no tengan dispongan de herramientas físicas definidas, sino que la simulación se dé a través de tecnologías como realidad virtual, en un entorno ciberfísico. Dentro de esta modalidad los procesos son experimentados por los estudiantes en escenarios digitales en los que pueden interactuar con los procesos productivos. Esto da como resultado la facilitación de un aprendizaje flexible, y una mayor libertad y rapidez para experimentar con distintas configuraciones, sin que haya riesgos o costos como en los entornos físicos.

También existen casos donde existen simulaciones físicas, pero que están complementadas con extensiones virtuales mediante tecnologías como gemelos digitales que replican de manera idéntica el entorno físico, a la vez que mediante sensores toman datos reales que se pueden observar, analizar y modificar para analizar resultados en el entorno digital. Otro subgrupo dentro de los entornos híbridos es en los que solo se utilizan softwares como complemento a la parte física, sin necesidad de que esté conectado en tiempo real al proceso.

La modalidad más utilizada según la literatura es la física, con 11 de las LF que trabajan con esta modalidad, seguida de la híbrida (6), y en último lugar la virtual (1), como se muestra en la figura 5.5. Esto puede deberse a la inversión económica que supone la implementación de un entorno totalmente digital. Además, es más fácil para experimentar con una Learning Factory en etapas iniciales, las pruebas con herramientas físicas que están a un alcance más directo de las instituciones y participantes. Es una forma más accesible que las modalidades híbrida y virtual, que, aunque ofrecen mayor flexibilidad y escalabilidad de construcción de la configuración, requieren una infraestructura tecnológica más avanzada, lo que es una barrera en la implementación.

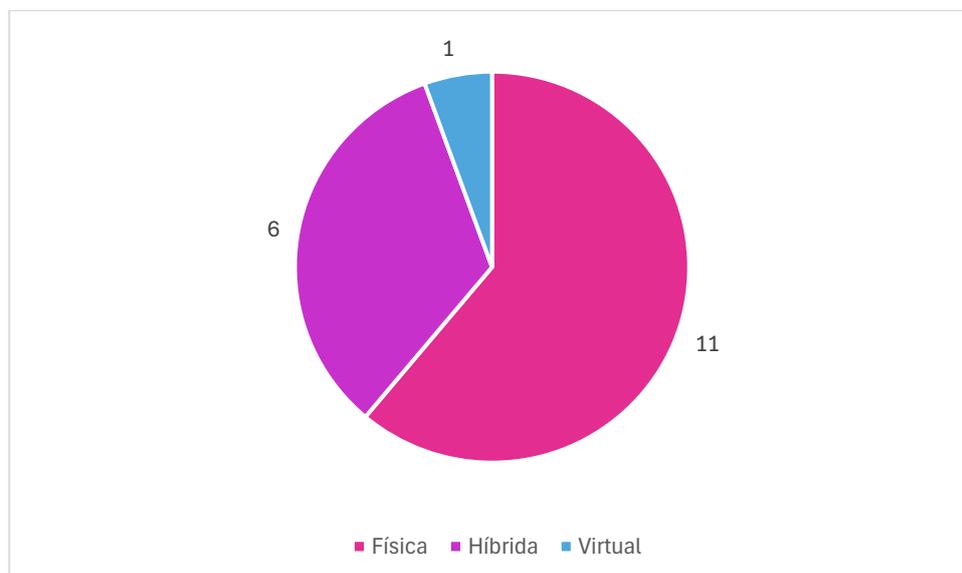


Figura 5.7. Modalidad de las LF

También se podría pensar que existe una relación entre el año de implementación y la modalidad de la simulación, pero según la literatura, en este caso no es así. Si bien las LF más antiguas que se incluyeron dentro del estudio son físicas, también existen algunas de los últimos años que también lo son. Esto explica que, a pesar del avance tecnológico reciente, múltiples instituciones educativas siguen apostando por entornos físicos debido a su efectividad pedagógica comprobada, alineándose con los recursos disponibles. Por lo tanto, la elección de la modalidad de simulación parece responder a otros factores, en vez de a una evolución en el tiempo.

Un ejemplo de la simulación híbrida es la LF de la Universidad de León, que emplea un modelo digital para replicar el entorno de fabricación, como se puede observar en la figura 5.6. Mediante lentes de realidad virtual, los estudiantes pueden interactuar como si lo estuvieran haciendo en el entorno físico existente (Fuertes et al., 2023). Además, consta de una aplicación de escritorio donde se pueden comparar los parámetros de los dos entornos almacenados en la nube.

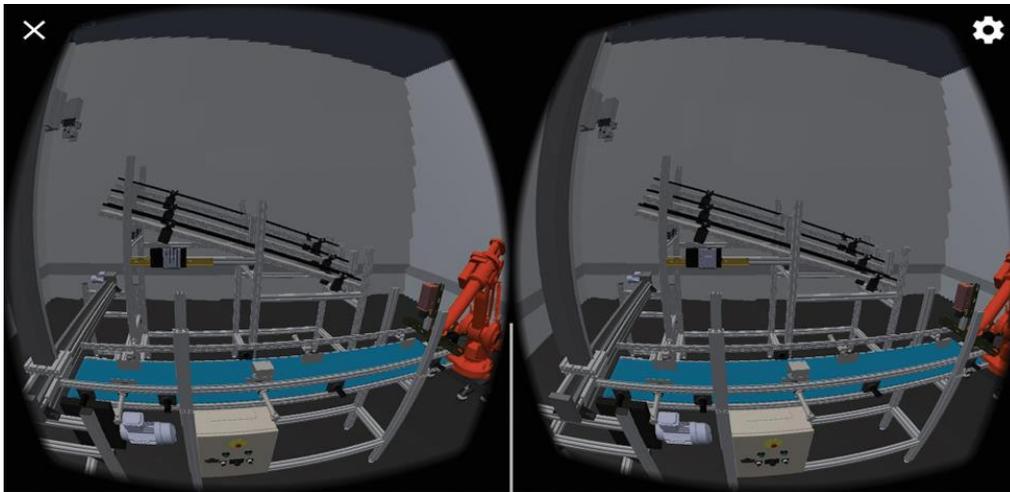


Figura 5.8. Gemelo virtual y su implementación en realidad virtual. Fuente: Fuertes et al., 2023.

Otro caso representativo que entra dentro del punto híbrido es la LF de la Ningbo University of Technology, en China. Si bien no dispone de un gemelo digital como tal, integra tecnología digital mediante el uso del software RaLC-Pro de simulación logística. Los estudiantes lo utilizan para diseñar un modelo de manejo de inventarios y controlar parámetros logísticos dentro de este, luego experimentan de manera práctica la LF, y en la etapa final regresan al entorno virtual para ajustar y optimizar su modelo aplicando los conocimientos adquiridos en la LF (Fu, 2017). Esta metodología promueve el aprendizaje autónomo y fomenta la aplicación de conceptos de mejora continua mediante la integración de herramientas digitales.

Dentro de la categoría de modalidad virtual se encuentra solo la 4X Learning Factory, desarrollada en Alemania. Es la única LF de la documentación utilizada que es totalmente virtual. También utiliza lentes de realidad virtual para la simulación de un entorno productivo, al igual que la LF de la Universidad de León. Además, puede utilizarse de manera completamente independiente para la enseñanza, sin necesidad de máquinas u otras herramientas físicas.

En la tabla 5.1 se encuentra una recopilación de las tecnologías mencionadas en los artículos estudiados.

Tabla 5.1 Tecnologías utilizadas en las LF analizadas

Tecnología	Autor(es)
Controlador PLC programado	(Fang y Shivathaya, 1997); (Fuertes et al., 2023); (Zawadzki et al., 2020)
Drones	(Angrisani et al., 2020)
Firewall industrial (ciberseguridad)	(Fuertes et al., 2023)
Gemelo digital	(Fuertes et al., 2023)
Integración de sistemas	(Cano-Suñén et al., 2020); (Fuertes et al., 2023)
Impresión 3D	(Angrisani et al., 2020); (Jaeger et al., 2013)
Inteligencia de Negocios	(Naveh et al., 2015)
Internet de las Cosas	(Cano-Suñén et al., 2020)
MES (Manufacturing Execution System)	(Haapasalo y Hyvonen, 2021); (Naveh et al., 2015); (Pittich et al., 2019)
Modelos CAD 3D	(Fuertes et al., 2023); (Zawadzki et al., 2020)
Realidad virtual y aumentada	(Fuertes et al., 2023); (Zawadzki et al., 2020)
RFID	(Naveh et al., 2015); (Zawadzki et al., 2020)
Sensores programados	(Angrisani et al., 2020); (Cano-Suñén et al., 2020)
Servicios en la nube	(Fuertes et al., 2023)
Software de simulación logística RALC-Pro	(Fu, 2017)

### 5.3 Mecanismo

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, el mecanismo se refiere a la manera o metodologías mediante las cuáles se genera el aprendizaje. En el caso de las fábricas de aprendizaje, existen múltiples métodos que los instructores utilizan para que el aprendizaje de los participantes se complete de manera efectiva. En la tabla 5.2 se puede observar una recopilación de los principales métodos utilizados dentro de la literatura para este fin.

El método pedagógico más frecuente es la simulación. Debido a que las LF de por sí representan una simulación de entornos productivos. A diferencia de este método, los proyectos de trabajo colaborativo y el aprendizaje basado en problemas, se centran más en la resolución de problemas asignados a los diferentes equipos participantes. Por ejemplo, en el caso de la Learning small Enterprise con FABLab, la colaboración universidad-empresa permite la resolución de proyectos con necesidades reales, como el monitoreo de parámetros de salud para una empresa deportiva (Angrisani et al., 2020). Así, se promueve el análisis crítico de los estudiantes y se permite una experimentación más cercana a las necesidades del

entorno empresarial real.

En el caso de SensoriZAR (Cano-Suñén et al., 2020), la implementación de una LF a partir de la aplicación de Internet de las Cosas supone por sí mismo un proyecto, en el que los participantes además de implantar sensores y gestionar la integración de los sistemas para posteriormente analizar los datos, proponer mejoras y llevar a cabo la evaluación de soluciones para el ahorro energético y el uso eficaz de los recursos. Este enfoque promueve un aprendizaje activo, donde se combina el uso de tecnologías emergentes con la resolución de problemas en un entorno de colaboración.

Tabla 5.2 Metodología pedagógica

Metodología	Autor(es)
Aprendizaje basado en problemas	(Angrisani et al., 2020); (Jaeger et al., 2013); (Lamancusa et al., 2006); (Naveh et al., 2015); (Pittich et al., 2019)
Combinación de teoría y práctica	(Adam et al., 2020)
Proyectos de trabajo colaborativo	(Angrisani et al., 2020); (Cano-Suñén et al., 2020); (Ssemakula et al., 2010)
Simulación	(Adam et al., 2020); (De Vin y Jacobsson, 2017); (Fang y Shivathaya, 1997); (Fuertes et al., 2023); (Haapasalo y Hyvonen, 2021); (Naveh et al., 2015); (Zawadzki et al., 2020)

En menor medida los instructores dictan previo a la simulación u otro método pedagógico, sesiones de teoría donde explican a los participantes los principios básicos del tema de enseñanza determinado. Aunque esto se utiliza de forma complementaria, para que los estudiantes o trabajadores adquieran una base sólida de los procesos que van a experimentar, y así facilitar una mejor comprensión del entorno simulado, las tecnologías involucradas, y una guía sobre las decisiones que deberán tomar durante la dinámica.

## 5.4 Resultados

La recopilación de métodos de medición de la efectividad del aprendizaje dentro de las LF estudiadas se muestra en la tabla 5.3. Dentro de todos los estudios analizados, los participantes sintieron una mejoría en sus habilidades y también un aumento de estas.

Tabla 5.3 Métodos de medición de la efectividad del aprendizaje en LF

Método	Autor(es)
Encuestas y cuestionarios	(Adam et al., 2020); (Angrisani et al., 2020); (Fu, 2017); (Ssemakula et al., 2010); (Fuertes et al., 2023); (Haapasalo y Hyvonen, 2021)
Focus groups	(Zawadzki et al., 2020); (Ssemakula et al., 2010)
Observaciones reales	(De Vin y Jacobsson, 2017); (Ssemakula et al., 2010)
Retroalimentación por parte de los participantes	(Naveh et al., 2015)

En su mayoría, la evaluación de la efectividad de la metodología se dio mediante encuestas o cuestionarios. Un porcentaje superior de estudiantes afirmó mediante encuestas que la experiencia en la LF que simula a una pequeña empresa integrada con FABLab en Italia, fue efectiva para aumentar y mejorar sus capacidades, esto después de un período desde 6 a 36 meses (Angrisani et al., 2020). Demostrando así que las habilidades obtenidas con métodos más dinámicos como los de las Learning Factories, perduran en el tiempo, en comparación con la utilización de métodos más teóricos y que no están centrados en los estudiantes.

También se utilizó la técnica de grupos focales para evaluar el aprendizaje en las LF. Un ejemplo es el Smart Factory Laboratory en Polonia, donde Zawadzki et al. (2020) eligieron a un grupo de estudiantes con características homogéneas y que no tuvieran conocimientos en el ensamblaje de piezas, ni un contacto preliminar con los procesos del laboratorio, para llevar a cabo el estudio. En menor medida se utilizaron métodos como observaciones reales, y la retroalimentación por parte de los participantes. Aunque generalmente, estas últimas dos técnicas se utilizaron de manera complementaria a las demás, como es el caso de Ssemakula et al., (2010) en su artículo Closing the Competency Gap in Manufacturing Processes As It Applies To New Engineering Graduates.

Con respecto a las competencias que se desarrollan en las Learning Factories, estas pueden ser tanto técnicas como blandas. Las principales competencias técnicas según la literatura se pueden observar en la tabla 5.4. Entre las más destacadas se encuentran los conocimientos de tecnologías habilitadoras y las herramientas Lean y de mejora continua.

Tabla 5.4 Competencias técnicas adquiridas después de la participación en LF

Competencias	Autor(es)
Adaptación a los tiempos y actividades de una organización	(Angrisani et al., 2020)
Conocimientos de tecnologías habilitadoras	(Angrisani et al., 2020); (Cano-Suñén et al., 2020); (Fuertes et al., 2023); (Zawadzki et al., 2020)
Competencias en manufactura	(Fang y Shivathaya, 1997); (Jaeger et al., 2013); (Lamancusa et al., 2006); (Ssemakula et al., 2010)
Desarrollo de prototipos y mejora de productos	(Angrisani et al., 2020); (Haapasalo y Hyvonen, 2021); (Ssemakula et al., 2010)
Medición de eficiencia energética	(Cano-Suñén et al., 2020)
Herramientas Lean y mejora continua	(Adam et al., 2020); (De Vin y Jacobsson, 2017); (Fu, 2017); (Gento et al., 2020); (Pittich et al., 2019)

Zawadzki et al. (2020) contemplan que la integración de los sistemas de realidad virtual puede ser una forma muy beneficiosa de aplicación en el entrenamiento de trabajadores ya que esta se puede integrar a los entornos productivos donde laboran. A su vez, Fuertes et al. (2023) afirman que el ambiente donde se desarrolla una Learning Factory es adecuado para aumentar la cercanía entre los estudiantes y los procesos de la Industria 4.0, disminuyendo así las barreras que existen debido a la inexistencia actual de una inserción laboral. A su vez, los conocimientos de los principios Lean y las habilidades de mejora continua también tuvieron un papel importante dentro de las LF de la literatura, al ser esta la primera categoría en temática de enseñanza.

Sin embargo, Angrisani et al. (2020) recalcan que ya no es suficiente que los estudiantes de ingeniería aprendan habilidades técnicas, sino que la adquisición de habilidades blandas es igual de importante. Dentro de las habilidades blandas de la literatura analizada resaltan el análisis y resolución de problemas, el trabajo en equipo, y el aprecio por otras disciplinas.

Los desafíos presentados en las distintas Learning Factories permiten que los participantes utilicen su criterio para analizar las mejores configuraciones posibles de acuerdo con las necesidades de producción, especialmente en aquellos casos donde se requiera un cambio de layout. También, en el ámbito de desarrollo de productos, se solicitan nuevas versiones del producto mejoradas, lo que impulsa a los participantes a proponer y definir estas versiones, pensando de manera crítica y creativa. Esto fomenta la innovación y la resolución de problemas, características que diferencian a los profesionales una vez se inserten al ámbito laboral.

Por otro lado, el trabajo en equipo es una competencia evidente producto de participar en una Learning Factory. Ya que esto supone la simulación de un entorno industrial real, se necesitan equipos para llevar a cabo los objetivos que tenga una organización. Esto promueve la colaboración, la comunicación efectiva y la toma de decisiones, preparando a los participantes para el enfrentamiento conjunto de problemas productivos.

Asimismo, al trabajar en equipo, se definen los diferentes papeles que tienen los participantes en las Learning Factories. Debido a que las empresas funcionan en entornos multidisciplinarios, se le asignan papeles a los participantes, que no siempre coinciden con su formación o experiencia previa. Así, se genera una comprensión de las funciones, aportes y desafíos que debe realizar y afrontar cada puesto, lo que genera una mayor empatía a la hora de trabajar. Según Haapasalo y Hyvonen (2001), la experiencia en la

Learning Factory da una nueva perspectiva sobre las funciones de cada rol en la empresa.

Tabla 5.5 Habilidades blandas adquiridas después de la participación en LF

Competencias	Autor(es)
Trabajo en equipo	(Angrisani et al., 2020); (Haapasalo y Hyvonen, 2021); (Ssemakula et al., 2010)
Análisis y resolución de problemas	(Angrisani et al., 2020); (Gento et al., 2020); (Lamancusa et al., 2006); (Naveh et al., 2015)
Apreciación por otras disciplinas	(Angrisani et al., 2020); (Haapasalo y Hyvonen, 2021); (Naveh et al., 2015)
Aprender haciendo	(Angrisani et al., 2020)
Conectar con los objetivos generales y específicos	(Angrisani et al., 2020)
Espíritu emprendedor	(Angrisani et al., 2020);
Habilidades de comunicación	(Angrisani et al., 2020); (Adam et al., 2020); (Ssemakula et al., 2010)
Innovación	(Fu, 2017)
Liderazgo	(Lamancusa et al., 2006)

## 6 ESTUDIO ECONÓMICO

Este capítulo tiene como objetivo detallar un desglose de los costos que tomó realizar el presente estudio, que consiste en una revisión sistemática sobre las Learning Factories implementadas en el mundo, así como explicar cada una de las fases requeridas para llevarlo a cabo. Al tratarse de una revisión sistemática los costos se enfocan más en las horas empleadas en la elaboración del trabajo que en los costos de materiales, aunque también se deben incluir el costo de los equipos utilizados, representando estos un menor porcentaje del total.

Al solo haber trabajado en este proyecto una persona, se asume para efectos de cálculo de costos por horas empleadas, que es necesaria la contratación de un ingeniero de organización industrial. Este se encarga de todas las fases del trabajo, desde la ideación del tema, hasta el análisis de los resultados. A continuación, se explican las fases necesarias para la realización de este trabajo de fin de máster.

### 6.1 Fases del trabajo

Las fases necesarias para realizar el estudio se detallan a continuación:

- **Análisis preliminar:** esta fase consistió en la lectura del estado del arte del tema de investigación para conocer más a fondo los aspectos más importantes de este, además de la lectura y análisis de casos de buenas prácticas presentados por figuras clave en el ámbito de las Learning Factories. Esto permitió la identificación de los aspectos a analizar durante la revisión sistemática. Durante esta fase también se establecieron los capítulos teóricos del trabajo de fin de máster, con el objetivo de establecer bases conceptuales sólidas para la comprensión de los capítulos del trabajo.
- **Cribado:** durante la fase de cribado constituyó el núcleo de la revisión sistemática. En esta etapa se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, en la búsqueda de la literatura para identificar la documentación más adecuada para responder a la pregunta de investigación. Una vez seleccionados los artículos, se hizo una lectura de los títulos y resúmenes de cada uno, descartando aquellos que no cumplieran con el enfoque de la investigación. Gracias a esta depuración se conformó un conjunto de artículos para su posterior análisis.
- **Síntesis y extracción de datos:** en esta etapa se leyeron en su totalidad los artículos seleccionados tras el cribado inicial. Aquí se extrajeron aspectos clave de cada documento, definidos previamente. Por ejemplo, la localización geográfica de la LF, su tema de enseñanza, aplicación de la Industria 4.0, entre otros. La información extraída se organizó en una hoja de cálculo en Excel, en forma de tabla para obtener una mejor visualización de los datos. Esto facilitó la comparación entre estudios, la identificación de patrones, y el análisis general de la documentación.
- **Redacción del documento y análisis:** una vez sintetizada toda la información necesaria se procedió a la redacción del trabajo final. Durante esta fase se detallaron los hallazgos obtenidos en la síntesis, presentando también la información visualmente en forma de gráficos. Además, se estructuraron los datos encontrados según las bases establecidas en el marco teórico y la pregunta de investigación.

## 6.2 Costos del Proyecto

El cálculo de las horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios se desglosa en la tabla 6.1 y 6.2.

Tabla 6.1 Horas y días efectivos anuales

Concepto	Días/horas
Año medio: (365,25)	365,25
Sábados y domingos: (365 * 2/7)	-104,36
Días efectivos de vacaciones:	-20,00
Días festivos reconocidos:	-12,00
Media de días perdidos por enfermedad	-7,00
Cursos de formación, etc.	-4,00
Total de días efectivos/año	217
Total de horas/año efectivas (8 horas/día):	1.736

Tabla 6.2 Semanas efectivas anuales

Concepto	Semanas
Año medio (semanas)	52
Vacaciones y festivos	-5
Enfermedad	-1
Cursos de formación	-1
Total semanas	45

Como ya se mencionó, el personal contratado es únicamente un ingeniero de Organización Industrial, que cursa el Máster en Logística. En la tabla 6.3 se calcula su salario basado en las horas y semanas efectivas anuales.

Tabla 6.3 Costos de la contratación del profesional

Concepto	Ingeniero de Organización Industrial
Sueldo	23.000 €
Seguridad Social (35%)	8.050 €
<b>Total:</b>	<b>31.050 €</b>
<b>Coste horario:</b>	<b>17,89 €</b>
<b>Coste Semanal:</b>	<b>690 €</b>

Una vez determinados el salario por hora y semanal del profesional en cuestión, es necesario determinar los costos asociados a cada fase del proyecto. Para esto se detallan las horas dedicadas a cada etapa en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 Horas dedicadas por el personal

Fase	Horas dedicadas por el Ing.
<b>1. Análisis preliminar</b>	<b>70 h</b>
Lectura y análisis de casos de buenas prácticas de LF	35 h
Búsqueda de la literatura y redacción del capítulo de historia y evolución de LF	18 h
Búsqueda de la literatura y redacción del capítulo de cómo realizar una revisión sistemática	17 h
<b>2. Cribado</b>	<b>40 h</b>
Formulación de la pregunta de investigación, definición de criterios de exclusión e inclusión y búsqueda de la literatura	6 h
Lectura de títulos y resúmenes de artículos	34 h
<b>3. Síntesis y extracción de datos</b>	<b>45 h</b>
<b>4. Maquetado y redacción del documento</b>	<b>25 h</b>
<b>TOTAL</b>	<b>180 h</b>

Después de cuantificar las horas dedicadas al estudio, se puede calcular el costo que representa cada fase. Este se resume en la tabla 6.4.

Tabla 6.5 Costo por fase

Fase	Costo
<b>1. Análisis preliminar</b>	1.251,60 €
<b>2. Cribado</b>	715,20 €
<b>3. Síntesis y extracción de datos</b>	804,60 €
<b>4. Maquetado y redacción del documento</b>	447,00 €
<b>TOTAL</b>	3.218,40 €

### 6.3 Cálculo de amortizaciones del equipo utilizado

El equipo utilizado para la realización de la investigación fue un ordenador portátil Dell Inspiron 3530 Intel Core i5-1334U/8GB/512GB SSD/15.6 y un Ipad 2019 de 10.2". En el software utilizado se puede mencionar la licencia de Windows 10 Pro y las licencias de Microsoft 365 que contienen los programas de Word y Excel, ya que actualmente estas no se venden por separado, sino en conjunto. El costo de estos se visualiza en la tabla 6.6. Es importante mencionar que no se tomó en cuenta el material consumible ya que todo se realizó de manera digital.

Tabla 6.6 Costos del equipo y software utilizados

Concepto	Costo	Cantidad	Costo total
<i>Equipos</i>			
Portátil Dell Inspiron 3530 Intel Core i5-1334U/8GB/512GB SSD/15.6	540 €	1	540 €
Apple Ipad 2019 10.2" 16 GB	500 €	1	500 €
Apple pencil	100 €	1	100 €
<b>Total Equipos</b>			<b>1.140 €</b>
<i>Software</i>			
Licencia Windows 11 pro	199 €	1	199 €
Licencia Microsoft 365	100 €	1	100 €
<b>Total Software</b>			<b>299 €</b>
<b>Total a amortizar</b>			<b>1.439 €</b>

Un período de amortización de 5 años, con cuota lineal se tomó en cuenta para el cálculo de la amortización, que se resume en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Amortización de los equipos y el software empleados

Tipo	Amortización
<b>Total</b>	<b>1.439 €/año</b>
Anual	288 €/año
Semanal	6,40 €/semana
Diaria	1,33 €/día
Horaria	0,17 €/hora

## 6.4 Costes indirectos

En esta sección se consideran gastos como la electricidad, alquiler, entre otros. Las tasas calculadas se muestran en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Costes indirectos

Concepto	Coste
Teléfono	120 €
Alquiler y conexión a Internet	2.880 €
Electricidad	384 €
Transporte	100 €
Coste anual	3.484 €
Coste semanal	77,42 €
Coste diario	16,06 €
Coste horario	2,01 €

## 6.5 Costos por fase

En esta sección se desglosan los costos de acuerdo con cada fase del proyecto.

### 6.5.1 Análisis preliminar

Tabla 6.9 Costes Fase 1

Concepto	Horas	Coste por hora	Coste total
Personal	70	17,89 €	1252,30 €
Amortización	70	0,17 €	11,90 €
Costes indirectos	70	2,01 €	140,70 €
<b>Coste total</b>			<b>1404,90 €</b>

### 6.5.2 Cribado

Tabla 6.10 Costes Fase 2

Concepto	Horas	Coste por hora	Coste total
Personal	40	17,89 €	715,60 €
Amortización	40	0,17 €	6,80 €
Costes indirectos	40	2,01 €	80,40 €
<b>Coste total</b>			<b>802,80 €</b>

### 6.5.3 Síntesis y extracción de datos

Tabla 6.11 Costes Fase 3

Concepto	Horas	Coste por hora	Coste total
Personal	45	17,89 €	805,05 €
Amortización	45	0,17 €	7,65 €
Costes indirectos	45	2,01 €	90,45 €
<b>Coste total</b>			<b>903,15 €</b>

#### 6.5.4 Maquetado y redacción del documento

Tabla 6.12 Costes Fase 4

Concepto	Horas	Coste por hora	Coste total
Personal	30	17,89 €	536,70 €
Amortización	30	0,17 €	5,10 €
Costes indirectos	30	2,01 €	60,30 €
<b>Coste total</b>			<b>602,10 €</b>

#### 6.6 Cálculo del coste total

La suma del coste de cada fase constituye el costo total. Este se detalla en la tabla 6.12

Fase	Coste
Fase 1: Análisis preliminar	1.404,90 €
Fase 2: Cribado	802,80 €
Fase 3: Síntesis y extracción de datos	903,15 €
Fase 4: Maquetado y redacción del documento	602,10 €
<b>Coste total</b>	<b>3.712,95 €</b>

Como resultado, el coste total del trabajo de fin de máster fue de 3.712,95 €.

## 7 CONCLUSIONES

Mediante este trabajo se ha revisado una revisión sistemática de la literatura basada en los lineamientos de PRISMA 2020 en relación con la formación técnico-industrial. Se han cumplido los objetivos planteados inicialmente planteados para el trabajo:

- Se ha realizado un estado del arte sobre las Learning Factories, lo que permitió sentar las bases teóricas para la comprensión de toda la investigación.
- El concepto y evolución de las Learning Factories fue presentado y explicado.
- Se detalló la metodología utilizada para realizar la revisión sistemática, destacando los criterios de búsqueda, selección, y análisis de las distintas fuentes.
- La localización geográfica, modalidad, enfoque, digitalización, y otros aspectos importantes de las Learning Factories de la literatura fueron presentados.
- Casos de buenas prácticas de Learning Factories, y los retos y oportunidades de mejora de este ámbito fueron detallados.
- Se identificaron vacíos de investigación.

Las conclusiones principales son:

- La literatura sobre Learning Factories implementadas no está muy extendida. Esto se evidencia con la cantidad de artículos seleccionados para su lectura completa, que fue de 16 artículos. Muchos de los artículos son teóricos y presentan conceptos que todavía están en fases iniciales, o analizan de manera conceptual las características de las LF, sin que haya una participación de estudiantes o trabajadores.
- La colaboración universidad-empresa es uno de los factores de éxito de una fábrica de aprendizaje. Entre más apoyo se pueda conseguir, más recursos se pueden conseguir, y la cantidad de beneficiarios es mayor. Estos últimos además de incluir a los estudiantes también pueden ser los trabajadores de empresas de este y de otros sectores al que está enfocada la LF. De esta manera, los conocimientos se intercambian ofreciendo una ventaja a todos los participantes de estar a la vanguardia en métodos de mejora para su organización.
- En los años más recientes, el enfoque de las Learning Factories se acerca más a temas como industria 4.0 y sostenibilidad, adaptándose a las tendencias y necesidades actuales de las industrias y de la sociedad. La implementación de tecnologías facilita el aprendizaje de los participantes y les permite desarrollar competencias necesarias para ser profesionales innovadores y actualizados.
- El Lean Manufacturing es un tema creciente dentro de las Learning Factories, siendo este el segundo tema encontrado con mayor frecuencia en la literatura. Esto va a alineado a la necesidad de las empresas de profesionales con habilidades para la identificación de desperdicios y mejora continua.
- Las Learning Factories son un claro ejemplo de un modelo pedagógico exitoso y de cómo su estructuración y metodología puede ser replicada y adaptada para diferentes disciplinas y localizaciones geográficas manteniendo su efectividad.

## **7.1 Fortalezas, limitaciones y recomendaciones del estudio**

### **7.1.1 Fortalezas**

Se llevó a cabo una metodología rigurosa siguiendo la guía de PRISMA 2020 para la obtención de la literatura adecuada para responder a la pregunta de investigación. Esto es un aspecto fundamental para la realización de una correcta revisión sistemática.

El análisis de las Learning Factories con enfoque en las aplicaciones de la Industria 4.0, tecnologías utilizadas y modalidades de la simulación, son aspectos no encontrados frecuentemente en las revisiones sistemáticas existentes. Estos son temas de actualidad y alta relevancia científica. Además, se abordaron distintos puntos sobre las Learning Factories de la literatura, creando una visión integral sobre estas.

Al abordar las características de las fábricas de aprendizaje encontradas en la literatura, estas pueden ser utilizadas como guía para académicos o instituciones que estén en proceso de diseño o implementación de estos entornos productivos. A su vez, el presente trabajo es una forma de divulgación mediante el cual universidades y empresas pueden inspirarse para implementar la metodología en sus instituciones.

### **7.1.2 Limitaciones y recomendaciones**

Se han podido obviar Learning Factories con temáticas interesantes al no haber sido publicadas en artículos científicos. Se recomienda incluir otro tipo de publicaciones como por ejemplo los artículos de conferencias en próximas revisiones sistemáticas del tema para que en los resultados de búsqueda abarquen documentación más reciente, con hallazgos científicos y pedagógicos más actualizados.

La exclusión de los artículos de 2024 también supone una limitación ya que se pudieron omitir documentos con temas más innovadores implementados en los últimos años. Esta pudo ser una razón para la antigüedad de un gran porcentaje de la literatura encontrada.

También la inclusión de estudios en otros idiomas puede dar perspectivas regionales y específicas de cada país estudiado. La limitación de artículos que únicamente estén publicados en inglés pudo haber reducido la diversidad geográfica de los enfoques analizados. Se pueden haber excluido publicaciones importantes desarrolladas en países que no sean angloparlantes.

Como una oportunidad identificada se puede mencionar la formación de colaboraciones entre instituciones académicas y empresariales tanto regionales como de otros países y continentes para el intercambio de conocimientos y la implementación de LF digitales en las que estos actores puedan interactuar y aprender entre sí. Aunque ya existen algunas LF de este tipo son escasas, y se podría aumentar la cantidad lo que resultaría en múltiples beneficios para todas las partes involucradas.

## **7.2 Líneas futuras de investigación**

Estudio enfocado en las Learning Factories que se concentran en temas como sostenibilidad e Industria 5.0. Aunque algunas de estas LF se presentaron en el análisis preliminar y al mencionar otras revisiones sistemáticas sobre fábricas de aprendizaje, no se encontraron dentro de la literatura LF cuyo objetivo principal fuera la impartición de estos temas. La sostenibilidad y la colaboración humano-robot son temas interesantes que podrían ser abordados en una revisión sistemática.

También se podría realizar un estudio de Learning Factories enfocado en regiones que no estuvieron tan representadas en el presente estudio, como América Latina, África, Asia Oriental o Europa del Este. Estas áreas presentan otras fortalezas diferentes a las localizaciones más frecuentes, que se pueden explorar más a fondo en el futuro. Al estar en contextos socioeconómicos distintos las Learning Factories en estas áreas pueden aportar una perspectiva distinta en las partes pedagógica, tecnológica y colaborativa.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihm, W., ElMaraghy, H., Humme, V., & Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihm, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., & Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2), 803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>
- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., & Kreß, A. (2024). *Learning factories: Featuring New Concepts, Guidelines, Worldwide Best-Practice Examples*. Springer.
- Abele, E., Metternich, J., & Tisch, M. (2019). *Learning factories: Concepts, Guidelines, Practice Examples*. Springer.
- Al Khatib, A., Malhaire, J.-M., Dauvé, S., & Fougères, A.-J. (2023). Project-based learning for engineering students in the context of Industry 4.0: Application to automotive assembly system. In *Proceedings of the Design Society*, 3(ICED23), 2965 - 2974. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.297>
- Angrisani, L., Arpaia, P., Bonavolontà, F., Moccaldi, N., & Schiano Lo Moriello, R. (2020). A “learning small enterprise” networked with a FabLab: An academic course 4.0 in instrumentation and measurement. *Measurement*, 150, Article 107063. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107063>
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in lean manufacturing learning factories. *Procedia Manufacturing*, 23, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008>
- Bhatia, M. S., Chaudhuri, A., Kayikci, Y., & Treiblmaier, H. (2023). Implementation of blockchain-enabled supply chain finance solutions in the agricultural commodity supply chain: A transaction cost economics perspective. *Production Planning and Control*, 35(12), 1353–1367. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2180685>
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363–376. [https://doi.org/10.1162/qss\\_a\\_00018](https://doi.org/10.1162/qss_a_00018)
- Carminati, L., Sala, R., Pirola, F., Capriotti, V., Magni, F., Dehbozorgi, M. H., Rossi, M., Terzi, S., Pozzi, R., & Rossi, T. (2024). Building the workforce of tomorrow: A systematic literature review of the essential skills for the future industrial landscape. *29th Summer School Francesco Turco*, 1-7. <https://hdl.handle.net/10446/293086>
- Centea, D., Singh, I., & Boer, J. (2020). RFID in manufacturing: An implementation case in the SEPT learning factory. *Procedia Manufacturing*, 51, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.076>
- Cortes-Pellicer, P., & Castelló-Sirvent, F. (2025). Challenges for operational and business management of rice straw extraction: An analysis based on CIMO-logic and system thinking process with experts. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 18(2), 267–284. <https://doi.org/10.3926/jiem.8593>
- Denyer, D., Tranfield, D., & van Aken, J. E. (2008). Developing design propositions through research synthesis. *Organization Studies*, 29(3), 393–413. <https://doi.org/10.1177/0170840607088020>
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The Sage Handbook of Organizational Research Methods* (pp. 671–689). Sage Publications Ltd.

- Dommermuth, M. (2024). Modular learning factories for Industry 4.0: Acquisition of a target-oriented action competence to accelerate industrial implementation. *Industry 4.0 Science*, 40(4), 24–30. <https://doi.org/10.30844/I4SE.24.4.24>
- European Training Foundation. (2023). *Key policy developments in education, training and employment – Israel 2023*. <https://www.etf.europa.eu/en/document-attachments/key-policy-developments-education-training-and-employment-israel-2023>
- Fang, X. D., & Shivathaya, S. S. (1997). Introducing fundamental concepts of manufacturing systems to fresh engineering students by physical simulation of automated factory. *International Journal of Engineering Education*, 13(2), 117–122. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ijee.ie/articles/Vol13-2/ijee906.pdf](https://www.ijee.ie/articles/Vol13-2/ijee906.pdf)
- Fuertes, J. J., González-Herbón, R., Rodríguez-Ossorio, J. R., González-Mateos, G., Alonso, S., & Morán, A. (2023). Guidelines to develop demonstration models on Industry 4.0 for engineering training. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(10), 1465–1481. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2189308>
- Fu, H. (2017). Integration of logistics simulation technology and logistics learning factory in a two-stage teaching method for logistics management courses. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 12(9), 130-144. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i09.7493>
- Gento, A. M., Pimentel, C., & Pascual, J. A. (2020). Lean school: An example of industry-university collaboration. *Production Planning & Control*, 32(6), 473-488. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1742373>
- Georgopoulos, V. P., Gkikas, D. C., & Theodorou, J. A. (2023). Factors influencing the adoption of Artificial Intelligence technologies in agriculture, livestock farming and aquaculture: A systematic literature review using PRISMA 2020. *Sustainability*, 15(23), Article 16385. <https://doi.org/10.3390/su152316385>
- Gessler, M., & Howe, F. (2015). From the reality of work to grounded work-based learning in German vocational education and training: Background, concept and tools. *International Journal for Research in Vocational Education and Training*, 2(3), 214–238. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.2.3.6>
- Gómez-Rosselli, S., & Rosselli, D. (2020). Bibliometric analysis of engineering publications in Colombia 2010–2019: A Scopus analysis. *Revista de Ingeniería*, 88(216), 9–14. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.89837>
- Gusenbauer, M. (2022). Search where you will find most: Comparing the disciplinary coverage of 56 bibliographic databases. *Scientometrics*, 127(5), 2683–2745. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04289-7>
- Gusenbauer, M., & Gauster, S. P. (2024). How to search for literature in systematic reviews and meta-analyses: A comprehensive step-by-step guide. *Technological Forecasting and Social Change*, 212, Article 123833. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123833>
- Haapasalo, H., & Hyvonen, J. (2001). Simulating business and operations management: A learning environment for the electronics industry. *International Journal of Production Economics*, 73(3), 261–272. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00088-3)
- Hegedić, M., Gregurić, P., Gudlin, M., Golec, M., Denadija, A., Tosanović, N., & Stefanić, N. (2022). Design and establishment of a learning factory at the FMENA Zagreb. *Tehnički Glasnik*, 16(3), 426–431. <https://doi.org/10.31803/tg-20220427181950>
- Hosseiniara, R. (2023). General comparison of scientific databases of Scopus, PubMed, and Web of Science. *Journal of Preventive and Complementary Medicine*, 2(3), 168-169. <https://doi.org/10.22034/ncm.2023.380213.1059>

- Information Management in Engineering at KIT. (2024). Realidad virtual en la LF KIT [Captura de pantalla]. *Virtuelle Lernfabrik 4.X - Winter Term 2023/24* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/1M2s3K3CZbM?si=4FTuGFw2864sYgFN>
- Jing, Z., Turi, J. A., Lu, S., & Rosak-Szyrocka, J. (2023). Sustainability through factory-based learning in higher education. *Sustainability*, 15(6), Article 5376. <https://doi.org/10.3390/su15065376>
- Kang, Y., Wee, Y., & Kim, W. (2024). Smart farming for sustainable agriculture: A case study through Korean public TVET. *Journal of Technical Education and Training*, 16(2), 195–208. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/JTET/article/view/16086>
- Kapoor, P., & Upadhyay, A. K. (2023, October). *Comparative study of citation databases: Web of Science & Scopus*. Paper presented at the conference *Empowering Libraries, Connecting Communities: Innovation, Collaboration, and Entrepreneurship*. Gaziabad, UP. [https://www.researchgate.net/publication/374591869\\_Comparative\\_study\\_of\\_citation\\_databases\\_Web\\_of\\_science\\_Scopus](https://www.researchgate.net/publication/374591869_Comparative_study_of_citation_databases_Web_of_science_Scopus)
- Karlsruhe Institute of Technology. (n.d.). Lernfabrik 4.X. Institute for Information Management in Engineering. [https://www.imi.kit.edu/english/21\\_2530.php](https://www.imi.kit.edu/english/21_2530.php)
- Kokol, P. (2023). Discrepancies among Scopus and Web of Science, coverage of funding information in medical journal articles: A follow-up study. *Journal of the Medical Library Association*, 111(3), 703–709. <https://doi.org/10.5195/jmla.2023.1513>
- Kreß, A., Wuchterl, S., & Metternich, J. (2021). Design approaches for learning factories – Review and evaluation. In *Proceedings of the Conference of Learning Factories (CLF) 2021*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3857880>
- Kumpulainen, M., & Seppänen, M. (2022). Combining Web of Science and Scopus datasets in citation-based literature study. *Scientometrics*, 127(11), 5613–5631. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04475-7>
- Lagorio, A., & Cimini, C. (2024). Towards 5.0 skills acquisition for students in industrial engineering: The role of learning factories. *Procedia Computer Science*, 232, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.031>
- Lamancusa, J. S., Jorgensen, J. E., & Zayas-Castro, J. L. (1997). The Learning Factory—A new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 103–112. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00272.x>
- Lamancusa, J.S. (2006). Design as the Bridge Between Theory and Practice. *International Journal of Engineering Education*, 22, 652-658. [https://www.researchgate.net/publication/263762792\\_Design\\_as\\_the\\_Bridge\\_Between\\_Theory\\_and\\_Practice](https://www.researchgate.net/publication/263762792_Design_as_the_Bridge_Between_Theory_and_Practice)
- Lamancusa, J. S., Zayas, J. L., Soyster, A. L., Morell, L., & Jorgensen, J. (2008). The learning factory: Industry-partnered active learning. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 27-36. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00951.x>
- Lorenzo, G., Gilabert, A., Lledó, A., & Lorenzo-Lledó, A. (2023). Analysis of trends in the application of augmented reality in students with ASD: Intellectual, social and conceptual structure of scientific production through WOS and Scopus. *Technology, Knowledge and Learning*, 28, 307–328. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09582-7>
- Louw, Q., & Deacon, A. (2020). Teaching Industrie 4.0 technologies in a learning factory through problem-based learning: Case study of a semi-automated robotic cell design. *Procedia Manufacturing*, 45, 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.105>
- Marmier, F., Rasovska, I., Dubreuil, L., & Rose, B. (2021). Industry 4.0 Learning Factory: a canvas for specifications. In *Proceedings of the 11th Conference on Learning Factories (CLF 2021)*, Graz, Austria.

<https://hal.science/hal-03404976v1>

- Mishra, V., & Mishra, M. P. (2023). PRISMA for review of management literature – Method, merits, and limitations. Rana, S., Singh, J. and Kathuria, S. (Ed.), In *Advancing methodologies of conducting literature review in management domain* (pp. 125-136). Emerald Publishing.
- Naveh, G., Even, A., Fink, L., & Berman, S. (2015). Information technology education in a digital factory learning environment. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 21(4), 1-14. <https://doi.org/10.1080/10798587.2015.1022346>
- Neacsu, G. C., Pascu, I. G., Nitu, E. L., & Gavrilita, A. C. (2021). Brief review of methods and techniques used in learning factories in the context of Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1018, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1018/1/012022>
- Nishikawa-Pacher, A. (2022). Research questions with PICO: A universal mnemonic. *Publications*, 10(3), 21. <https://doi.org/10.3390/publications10030021>
- Oseni, T., Rahim, M., & Foster, S. (2023). A realist evaluation of post-implementation modifications: A context-initiative-mechanism-outcome perspective. *Journal of Critical Realism*, 22(4), 645–669. <https://doi.org/10.1080/14767430.2023.2217494>
- Padovano, A., Cardamone, M., & Klaess, J. (2024). Empowering Operator 5.0: Human-centric design of an augmented reality tool for a learning factory. *IFAC-PapersOnLine*, 58(8), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.117>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Welch, V. A., Moher, D., Liberati, A., Petticrew, M., Stewart, L. A., Jüni, P., Akl, E. A., Alhazzani, W., Andrews, J., Baird, S., Bastian, H., ... Zaugg, T. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Phillips, M., Reed, J. B., Zwicky, D., & Van Epps, A. S. (2023). A scoping review of engineering education systematic reviews. *Journal of Engineering Education*, 113(4), 818-837. <https://doi.org/10.1002/jee.20549>
- Pittich, D., Tenberg, R., & Lensing, K. (2019). Learning factories for complex competence acquisition. *European Journal of Engineering Education*, 45(2), 196-213. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1567691>
- Poklepović Peričić, T., & Tanveer, S. (2023, July 23). Why systematic reviews matter. *Elsevier*. <https://www.elsevier.com/connect/why-systematic-reviews-matter>
- Powell, K. R., & Peterson, S. R. (2017). Coverage and quality: A comparison of Web of Science and Scopus databases for reporting faculty nursing publication metrics. *Nursing Outlook*, 65(5), 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2017.03.004>
- Power, J. (2021). Systematic reviews in engineering education: A catalyst for change. *European Journal of Engineering Education*, 46(6), 1163–1174. <https://doi.org/10.1080/03043797.2021.1980770>
- Quinn, W., Cionca, V., Withephanich, K., & Ozturk, C. (2022). A learning factory framework: Challenges and solutions for an Irish university. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.125>
- Rasovska, I., Deniaud, I., Marmier, F., & Michalak, J.-L. (2022). Learning factory FleXtory: Interactive loops between real and virtual factory through digital twin. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1938–1943. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.682>
- Richardson, W. S., Wilson, M. C., Nishikawa, J., & Hayward, R. S. (1995). The well-built clinical question: A

- key to evidence-based decisions. *ACP Journal Club*, 123(3), A12–3. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7582737/>
- Reining, N., & Kauffeld, S. (2022, November). Empirical findings on learning success and competence development at learning factories: A scoping review. *Education Sciences*, 12(11), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci12110769>
- Saaq, M., & Ashraf, B. (2017). Modifying “Pico” question into “Picos” model for more robust and reproducible presentation of the methodology employed in a scientific study. *World Journal of Plastic Surgery*, 6(3), 390–392. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5714990/>
- Schallock, B., Rybski, C., Jochem, R., & Kohl, H. (2018). Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training. *Procedia Manufacturing*, 23, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.156>
- Shaheen, N., Shaheen, A., Ramadan, A., Hefnawy, M. T., Ramadan, A., Ibrahim, I. A., Hassanein, M. E., Ashour, M. E., & Flouty, O. (2023). Appraising systematic reviews: A comprehensive guide to ensuring validity and reliability. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 8, Article 1268045. <https://doi.org/10.3389/frma.2023.1268045>
- Siebert, J., Schlegel, T., Zarco, L., & Bauernhansl, T. (2020). Order-oriented learning factories: Why and how learning factories have to adapt. *Procedia Manufacturing*, 45, 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.053>
- Sohrabi, C., Franchi, T., Mathew, G., Kerwan, A., Nicola, M., Griffin, M., Agha, M., & Agha, R. (2021). PRISMA 2020 statement: What's new and the importance of reporting guidelines. *International Journal of Surgery*, 88, 105918. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105918>
- Sorensen, D. G. H., Lassen, A. H., Larsen, M. S. S., & Hansen, A. K. (2022). Learning factories for learning and experimentation on Industry 4.0 in SMEs. In: Madsen, O., Berger, U., Møller, C., Heidemann Lassen, A., Vejrum Waehrens, B., Schou, C. (eds). *The future of smart production for SMEs (431–440)*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15428-7\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15428-7_39)
- Ssemakula, M. E., Liao, Y. G., & Ellis, R. D. (2010). Closing the competency gap in manufacturing processes as it applies to new engineering graduates. *Advances in Engineering Education*, 2(1), 1–16. [https://www.researchgate.net/publication/285658954\\_Closing\\_the\\_competency\\_gap\\_in\\_manufacturing\\_processes\\_as\\_it\\_applies\\_to\\_new\\_engineering\\_graduates](https://www.researchgate.net/publication/285658954_Closing_the_competency_gap_in_manufacturing_processes_as_it_applies_to_new_engineering_graduates)
- Sudhoff, M., Prinz, C., & Kuhlenkötter, B. (2020). A systematic analysis of Learning Factories in Germany: Concepts, production processes, didactics. *Procedia Manufacturing*, 45, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.081>
- Szabó, D., Csikós, F., Panker, V., & Kovács, I. (2024). Learning Factories in Practice: The Example and Development Proposal of Mini Company Located in the Automotive Science Park Based on International Best Practices. *Engineering Proceedings*, 79(1), 56. <https://doi.org/10.3390/engproc2024079056>
- Tan, Y., Li, X., & Athinarayanan, R. (2023). Exploring learning factory transformations in Industry 5.0. *Robotics & Automation Engineering Journal*, 5(5), Article 555671. <https://doi.org/10.19080/RAEJ.2023.05.555671>
- Torres, G. C., Ledbetter, L., Cantrell, S., Alomo, A. R. L., Blodgett, T. J., Bongar, M. V., Hatoum, S., Hendren, S., Loa, R., Montaña, S., Sumile, E. F., Turner, K. M., & Relf, M. V. (2024). Adherence to PRISMA 2020 reporting guidelines and scope of systematic reviews published in nursing: A cross-sectional analysis. *Journal of Nursing Scholarship*, 56(4), 531–541. <https://doi.org/10.1111/jnu.12969>
- Turgel, I. D., & Chernova, O. A. (2024). *Open science alternatives to Scopus and the Web of Science: A case study in regional resilience*. *Publications*, 12(4), 43. <https://doi.org/10.3390/publications12040043>

- Visser, M., van Eck, N. J., & Waltman, L. (2020). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.10732>
- Witeck, G. R., & Alves, A. C. (2024). Worldwide Lean Learning Factories. In *Proceedings of the ASME 2023 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)*, IMECE2023-112983, New Orleans, Louisiana, USA. <https://doi.org/10.1115/IMECE2023-112983>
- Zawadzki, P., Zywicki, K., Bun, P., & Gorski, F. (2020). Employee training in an intelligent factory using virtual reality. *IEEE Access*, 8, 99. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010439>



Tabla 9.1 Artículos estudiados

No.	Título del artículo	Autor/es	Nombre de la Learning Factory
1	The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning	(Lamancusa et al., 2006)	The Learning Factory
2	Total Immersion: Hands and Heads-On Training in a Learning Factory for Comprehensive Industrial Engineering Education	(Jaeger et al., 2013)	Physical simulation of automated factory
3	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	The Training Factory for the Electronics Industry
4	Introducing fundamental concepts of manufacturing systems to fresh engineering students by physical simulation of automated factory	(Fang y Shivathaya, 1997)	CiPlearningfactory
5	Simulating business and operations management } a learning environment for the electronics industry	(Haapasalo y Hyvonen, 2021)	LPS Learning Factory
6	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	LF Wayne State University
7	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	KIT's Learning Factory on Global Production
8	Closing the Competency Gap in Manufacturing Processes As It Applies To New Engineering Graduates	(Ssemakula et al., 2010)	'Learning and Innovation Factory for Integrative Production Education
9	Learning factories for complex competence acquisition	(Pittich et al., 2019)	Escuela Lean: Uva
10	Lean school an example of industry university collaboration	(Gento et al., 2020)	IMT laboratory
11	INFORMATION TECHNOLOGY EDUCATION IN A DIGITAL FACTORY LEARNING ENVIRONMENT	(Naveh et al., 2015)	4.X Learning Factory
12	Integration of Logistics Simulation Technology and Logistics Learning Factory in a Two-stage Teaching Method for Logistics Management Courses	(Fu, 2017)	Logistics Learning Factory
13	Karlstad lean factory: an instructional factory for game-based lean manufacturing training	(De Vin y Jacobsson, 2017)	Karlstad lean factory
14	A "learning small enterprise" networked with a FabLab: An academic course 4.0 in instrumentation and measurement	(Angrisani et al., 2020)	Learning small enterprise" networked with a FabLab
15	Effectiveness of a lean simulation training: challenges, measures and recommendations	(Adam et al., 2020)	The LEAN Lab
16	Employee Training in an Intelligent Factory Using Virtual Reality	(Zawadzki et al., 2020)	Smart Factory laboratory
17	Guidelines to develop demonstration models on industry 4.0 for engineering training	(Fuertes et al., 2023)	LF Universidad de León
18	Internet of Things (IoT) in Buildings: A Learning Factory	(Cano-Suñén et al., 2020)	sensoriZAR

Tabla 9.2 Síntesis de las Learning Factories estudiadas

No.	Nombre de la Learning Factory	País	Continente	Año de Creación	Tema de Enseñanza	Aplicación de Industria 4.0/5.0 (Sí/No)	Público Objetivo	Tipo de Simulación	¿Está Digitalizada?
1	The Learning Factory	E.E.U.U.	América	1994	Desarrollo de productos y manufactura	No	Estudiantes	Física	Sí
2	Physical simulation of automated factory	Australia	Oceanía	1997	Diseño de sistemas de manufactura	No	Estudiantes	Física	No
3	The Training Factory for the Electronics Industry	Finlandia	Europa	2001	Gestión y operación de líneas de producción	Sí	Trabajadores	Híbrida	Sí
4	CiPlearningfactory	Alemania	Europa	2007	Lean Manufacturing	Sí	Trabajadores	Híbrida	Sí
5	LPS Learning Factory	Alemania	Europa	2009	Industria 4.0, talleres Lean	Sí	Mixto	Física	No
6	LF Wayne State University	E.E.U.U.	América	2010	Diseño mecánico	No	Estudiantes	Física	No
7	KIT's Learning Factory on Global Production	Alemania	Europa	2011	Lean Manufacturing	Sí	Mixto	Híbrida	Sí
8	'Learning and Innovation Factory for Integrative Production Education	Austria	Europa	2013	Desarrollo de productos, Producción Lean	Sí	Estudiantes	Física	No
9	Escuela Lean: Uva	España	Europa	2014	Lean Manufacturing	No	Mixto	Física	No
10	IMT laboratory	Israel	Asia	2015	IT en manufactura	Sí	Estudiantes	Física	Sí
11	4.X Learning Factory	Alemania	Europa	2017	Desarrollo de productos	Sí	Mixto	Virtual	Sí
12	Logistics Learning Factory	China	Asia	2017	Lean Manufacturing	No	Estudiantes	Física	No
13	Karlstad lean factory	Suecia	Europa	2017	Lean Manufacturing	No	Trabajadores	Física	No
14	Learning small enterprise" networked with a FabLab	Italia	Europa	2020	Internet de las cosas, Manufactura aditiva	Sí	Estudiantes	Física	Sí
15	The LEAN Lab	Austria	Europa	2020	Lean Management	No	Trabajadores	Física	No
16	Smart Factory laboratory	Polonia	Europa	2020	Industria 4.0	Sí	Trabajadores	Híbrida	Sí
17	LF Universidad de León	España	Europa	2020	Industria 4.0	Sí	Estudiantes	Híbrida	Sí
18	sensoriZAR	España	Europa	2023	Eficiencia energética, IoT	Sí	Estudiantes	Híbrida	Sí