



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**Estudio y creación de talleres formativos de una factoría de
aprendizaje basada en un modelo físico de fábrica 4.0**

Autor: **Oscar Díez Cuadrado**

Tutor: **Pedro Sanz Angulo**

Valladolid, enero de 2022

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado surgió con el propósito de conocer cómo se está utilizando una herramienta fundamental en la formación sobre Industria 4.0 como son las fábricas de aprendizaje o *learning factories*. Posteriormente, con la adquisición del modelo físico de fábrica de Industria 4.0 por parte del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad de Valladolid, nos propusimos dar los primeros pasos en la creación de una fábrica de aprendizaje en el entorno UVa.

Por este motivo, además de estudiar qué se está haciendo en relación con la Industria 4.0 en las fábricas de aprendizaje existentes a nivel internacional, en este TFG se han definido los dos primeros talleres del futuro *learning factory* UVa de Industria 4.0.

Para ello, se ha tratado de integrar el modelo educativo STEAM y el aprendizaje inverso a fin de lograr que los estudiantes puedan conocer las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 mientras desarrollan activamente las habilidades que les demandarán en el mercado laboral.

PALABRAS CLAVE

Learning factory, industria 4.0, modelo STEAM, aprendizaje inverso, aprender haciendo, simulación.

ABSTRACT

This Degree's Thesis emerged with the purpose of knowing how a fundamental tool, such as learning factories, are being used in training on Industry 4.0. Subsequently, with the acquisition of a physical model of the industry 4.0 factory by the Department of Business Organization of the University of Valladolid, we set out to take the first steps in the creation of a learning factory in the UVa environment.

For this reason, in addition to study what is being done in relation to Industry 4.0 in existing learning factories at an international level, in this Degree's Thesis the first two workshops of the future UVa Industry 4.0 learning factory have been defined.

To do this, an attempt has been made to integrate the STEAM educational model and flipped learning methodology to ensure students can learn about the enabling technologies of Industry 4.0 while actively developing the skills that the labour market will demand them.

KEYWORDS

Learning factory, industry 4.0, STEAM model, flipped learning, learning by doing, simulation.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi madre y a mi padre por darme la posibilidad de realizar estos estudios y su apoyo durante este tiempo.

Por otro lado, agradecer a mi tutor Pedro la ayuda, paciencia y buen humor durante la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Motivación	2
Objetivos	2
Estructura	3
1. INDUSTRIA 4.0	5
1.1. Un poco de historia	5
1.2. Algunos conceptos clave	7
1.2.1. Globalización	7
1.2.2. Digitalización	7
1.2.3. Ciclos dinámicos de vida de productos	8
1.2.4. Riesgo de inestabilidad	8
1.3. Industria 4.0	9
1.3.1. Principios de diseño de la Industria 4.0	9
1.3.2. Tecnologías de la Industria 4.0	11
1.3.3. Relaciones de los principios básicos de la Industria 4.0 y clasificación	14
1.3.4. Esquema de clasificación y evaluación	14
2. FÁBRICAS DE APRENDIZAJE	17
2.1. Concepto	17
2.2. Origen	18
2.3. Potencial de las fábricas de aprendizaje	19
2.3.1. Potencial para la educación y el entrenamiento	19
2.3.2. Potencial para la investigación, demostración y transferencia de innovación	20
2.4. Limitaciones de las fábricas de aprendizaje	21
2.5. Evolución hacia la Industria 4.0	22
2.6. Ejemplos prácticos de fábricas de aprendizaje	22
2.6.1. AutFab en la Universidad de las Ciencias Aplicadas de Darmstadt (Alemania)	23
2.6.2. Die Lernfabrik en la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania)	25
2.6.3. ESB Logistics en la Escuela de Negocio de la Universidad de Reutlingen (Alemania)	27
2.6.4. ETA-Factory en la Universidad Técnica de Darmstadt (Alemania)	29
2.6.5. IFA-Learning Factory en la Universidad de Hannover (Alemania)	31
2.6.6. Smart Mini Factory en la Universidad Libre de Bozen-Bolzano (Italia)	33
2.6.7. Resumen de las fábricas de aprendizaje analizadas	35
2.7. Fábricas de aprendizaje digitales	36
2.7.1. Realidad virtual y realidad aumentada	36
2.7.2. Fábricas de aprendizaje virtuales	37
2.8. Sistemas de fabricación inteligentes	37
2.8.1. Gemelos digitales	38
2.8.2. Etapas del diseño de los gemelos digitales	39

2.8.3.	<i>Estructura funcional de los gemelos digitales</i>	40
2.8.4.	<i>Plataforma de internet industrial</i>	41
3.	FÁBRICA DE FORMACIÓN INDUSTRIAL 4.0 EN LA UVA- FISCHERTECHNIK	43
3.1.	Descripción de la fábrica	43
3.2.	Componentes de la fábrica	44
3.3.	Paneles de control	48
3.3.1.	<i>Panel de control de la fábrica</i>	48
3.3.2.	<i>Panel de control de la cámara</i>	49
4.	CREACIÓN DE TALLERES EN LA FÁBRICA DE APRENDIZAJE	51
4.1.	Metodología.....	51
4.2.	Taller nº1 – Toma de contacto con la fábrica de formación	53
4.2.1.	<i>Documentación previa al taller nº1</i>	53
4.2.2.	<i>Guion del taller nº1</i>	60
4.2.3.	<i>Cuestionario de autoevaluación sobre la Industria 4.0</i>	69
4.2.4.	<i>Cuestionario Socrative del taller nº1</i>	70
4.2.5.	<i>Cuestionario final sobre el taller nº1</i>	71
4.2.6.	<i>Encuesta de reflexión sobre el taller nº1</i>	73
4.3.	Taller nº2 – Funcionamiento de la fábrica y pedidos de materia prima	75
4.3.1.	<i>Documentación previa al taller nº2</i>	75
4.3.2.	<i>Guion del taller nº2</i>	80
4.3.3.	<i>Cuestionario de autoevaluación sobre el funcionamiento de la fábrica</i>	85
4.3.4.	<i>Cuestionario Socrative del taller nº2</i>	87
4.3.5.	<i>Cuestionario final sobre el taller nº2</i>	87
4.3.6.	<i>Encuesta de reflexión sobre el taller nº2</i>	89
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	91
5.1.	Introducción.....	91
5.2.	Profesionales que participan en el proyecto	91
5.3.	Fases del proyecto	92
5.4.	Estudio económico.....	93
5.4.1.	<i>Tasas horarias del personal y horas efectivas anuales</i>	93
5.4.2.	<i>Amortizaciones del equipo informático</i>	94
5.4.3.	<i>Costes del material consumible</i>	95
5.4.4.	<i>Costes indirectos</i>	95
5.4.5.	<i>Tiempo dedicado por el personal a cada fase del proyecto</i>	96
5.5.	Asignación de costes a cada fase del proyecto	96
5.5.1.	<i>Costes de la fase I. Planificación inicial del proyecto</i>	96
5.5.2.	<i>Costes de la fase II. Búsqueda de información</i>	97
5.5.3.	<i>Costes de la fase III. Desarrollo del proyecto</i>	97
5.5.4.	<i>Costes de la fase IV. Seguimiento y control del proyecto</i>	98
5.6.	Coste total del proyecto.....	98
	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	103

Conclusiones	103
Líneas futuras.....	105
BIBLIOGRAFÍA	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enfoques basados en la simulación en el contexto de la Industria 4.0. Adaptado de (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020)	12
Figura 2. Tecnologías empleadas en Industria 4.0. Adaptado de (Germán, Santos Dalenogare, & Ayala, 2019)	13
Figura 3. División y clasificación de los principios básicos de la Industria 4.0. Adaptado de (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020)	15
Figura 4. Desarrollo del modelo. Adaptado de (Enke, Metternich, Bentz, & Klaes, 2018)	18
Figura 5. Desarrollo histórico de los acercamientos a fábricas de aprendizaje y número de documentos en Google Scholar con respecto a fábricas de aprendizaje y enseñanza. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017)	19
Figura 6. El rol de las fábricas de aprendizaje en la asimilación de la información y aprendizaje experimental. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017)	20
Figura 7. Fábricas de aprendizaje como facilitadores de la investigación. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017) .	21
Figura 8. Aspectos cruciales de la producción, tecnologías y competencias requeridas. Adaptado de (Simons, Abé, & Nesper, 2017).....	23
Figura 9. Flujo de proceso dentro del semestre. Adaptado de: (Simons, Abé, & Nesper, 2017)	25
Figura 10. Esquema del funcionamiento de la investigación en Lernfabrik. Adaptado de (Blume, y otros, 2015)	27
Figura 11. Entorno de planificación digital y fábrica de aprendizaje físico. Adaptado de (Brenner & Hummel, 2016) 29	
Figura 12. Fábrica de aprendizaje ETA en el contexto del aprendizaje permanente. Adaptado de (Abele, Bauerdick, Strobel, & Panten, 2016).....	31
Figura 13. Principios tratados en la fábrica de aprendizaje IFA. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)	32
Figura 14. Evolución de la tecnología de simulación desde el punto de vista del diseño. Fuente: elaboración propia	39
Figura 15. Etapas del diseño de los gemelos digitales. Fuente: elaboración propia	39
Figura 16. Marco de referencia para sistemas de fabricación inteligentes. Adaptado de (Leng, y otros, 2021).....	41
Figura 17. Ilustración de la célula de trabajo Fischertechnik completa. Extraído de (Weininger, 2019)	44
Figura 18. Ilustración del manipulador de aspiración por vacío. Extraído de (Weininger, 2019).....	44
Figura 19. Ilustración del almacén automatizado con techo alto. Extraído de (Weininger, 2019).....	45
Figura 20. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con horno. Extraído de (Weininger, 2019)	45
Figura 21. Ilustración de la cinta de clasificación con reconocimiento de color. Extraído de (Weininger, 2019)	46
Figura 22. Ilustración de la estación ambiental con cámara de control. Extraído de (Weininger, 2019)	46
Figura 23. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con cámara de control. Extraído de (Weininger, 2019) 47	
Figura 24. Ilustración de la estación de Ingreso/salida con lector NFC. Extraído de (Weininger, 2019)	47
Figura 25. Ilustración del panel de control de la fábrica. Extraído de (Weininger, 2019)	48
Figura 26. Ilustración del panel de control de la cámara. Extraído de (Weininger, 2019)	49
Figura 27. Línea temporal de la metodología flipped learning. Fuente: elaboración propia	52
Figura 28. Organización de los profesionales que intervienen en el proyecto. Fuente: elaboración propia	92
Figura 29. Fases del proyecto. Fuente: elaboración propia	93
Figura 30. Distribución del coste total por fases. Fuente: elaboración propia	99
Figura 31. Distribución del tiempo total por fases del proyecto. Fuente: elaboración propia	99
Figura 32. Distribución del coste total por categorías. Fuente: elaboración propia	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de AutFab. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)	24
Tabla 2. Características de Lernfabrik. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)	26
Tabla 3. Características de ESB Logistics. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)	28
Tabla 4. Características de ETA-Factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)	30
Tabla 5. Características de IFA-Learning factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).....	32
Tabla 6. Características de Smart Mini-Factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).....	34
Tabla 7. Plataformas de Internet industrial más comunes según (Tao, y otros, 2020)	42
Tabla 8. Horas efectivas anuales. Fuente: elaboración propia	93
Tabla 9. Semanas efectivas anuales. Fuente: elaboración propia	94
Tabla 10. Costes semanales y horarios del personal. Fuente: elaboración propia.....	94
Tabla 11. Amortización de los equipos informáticos. Fuente: elaboración propia	95
Tabla 12. Coste del material consumible. Fuente: elaboración propia	95
Tabla 13. Costes indirectos. Fuente: elaboración propia	96
Tabla 14. Horas dedicadas por el personal en cada fase. Fuente: elaboración propia	96
Tabla 15. Costes totales asociados a la fase I. Fuente: elaboración propia.....	97
Tabla 16. Costes totales asociados a la fase II. Fuente: elaboración propia.....	97
Tabla 17. Costes totales asociados a la fase III. Fuente: elaboración propia.....	98
Tabla 18. Costes totales asociados a la fase IV. Fuente: elaboración propia	98
Tabla 19. Desglose del coste total por fases. Fuente: elaboración propia	98
Tabla 20. Coste final del proyecto con impuestos y beneficios. Fuente: elaboración propia	101

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La primera revolución industrial tuvo lugar en el siglo XVIII con la introducción de instalaciones de fabricación mecánica impulsadas por agua y vapor. A principios del siglo XX, la segunda revolución industrial introdujo la fabricación impulsada por la electricidad. A principios de los años 70, la tercera revolución industrial se benefició del uso de la electrónica y las tecnologías de la información para extender la automatización en la producción.

Durante la última década, la aparición de la cuarta revolución industrial ha sido un poderoso factor impulsor de la transformación empresarial. El significado original de la cuarta revolución industrial se refería a la transformación de las invenciones en innovaciones. Sin embargo, la definición ha cambiado recientemente para incluir el eje tecnológico basado en la comunicación, la intermediación y el entorno relacional 4.0.

Los ambientes de trabajo 4.0 se consiguen equipando a las empresas con sistemas ciberfísicos y tecnologías 4.0. La Industria 4.0 permite un ambiente flexible basado en dos factores clave: integración a lo largo de la cadena de valor y la interoperabilidad de la producción.

La transición hacia la Industria 4.0 demanda tanto la difusión de sus tecnologías como el desarrollo de nuevas competencias por parte de la industria y las academias. Es por esto por lo que, las fábricas de aprendizaje (*Learning Factories*); se convierten en una herramienta importante para la Industria 4.0.

Además, estas fábricas de aprendizaje tienen un fin educativo, permitiendo a los estudiantes adquirir los conocimientos y las competencias necesarias que reclama el mundo laboral en la actualidad.

Las fábricas de aprendizaje se pueden definir como modelos de fábricas reales que funcionan de manera cercana a la industria; siendo capaces de proveer un entorno para un entrenamiento orientado al futuro, la educación y la investigación. Actualmente, las fábricas de aprendizaje se centran menos en el ambiente educativo y de entrenamiento y más en la transferencia tecnológica y la investigación.

La continua digitalización de procesos productivos ha creado el camino hacia la implementación de la simulación digital y emulación de procesos y sistemas. Gracias a estos avances surgen los gemelos digitales (*Digital twins*), una presentación de las características y el comportamiento de un sistema de acuerdo con varios niveles de detalle y con alcance al que se dirige.

INTRODUCCIÓN

Motivación

Durante el curso 20-21, los miembros del proyecto de innovación docente titulado “Integración del modelo educativo *STEAM* con la docencia *flipped learning* en asignaturas de producción de la Escuela de Ingenierías Industriales a través del Fablab UValladolid”, se plantearon la construcción de una fábrica de aprendizaje centrada en la Industria 4.0 en el entorno de la Universidad de Valladolid.

Para lograrlo, primero era necesario conocer qué se está haciendo a nivel internacional en la formación de la industria 4.0, prestando especial atención a la simulación y a los gemelos digitales, ya que los miembros del PID tienen experiencia en ambas tecnologías. Dicho de otro modo, era necesario identificar las *learning factories* existentes, sus características, sus actividades, puntos fuertes y débiles, ..., y comprender en qué dirección se están desarrollando.

Por otro lado, y fruto del trabajo del PID anterior, recientemente se ha adquirido un modelo físico de Industria 4.0 que utiliza algunas de las tecnologías habilitadoras como son: la utilización de los servicios en la nube o la digitalización. Este modelo ha de servir de punto de partida para ir desarrollando otras tecnologías, comenzando con los gemelos digitales.

Con este propósito, se están empezando a dar los primeros pasos en la comprensión de la programación de la factoría; en concreto, se está trabajando en la creación del gemelo digital y el análisis de datos mediante *big data* e inteligencia artificial, y en el futuro se prevé incorporar otras como la impresión 3D, la realidad aumentada o los *blockchain*.

La adquisición de este modelo físico de fábrica de industria 4.0 permite trabajar en la construcción de los primeros talleres o prácticas que definan la *learning factory* de Industria 4.0. Estas prácticas han de seguir los principios metodológicos que vienen utilizando el grupo de investigación docente, a fin de lograr un desarrollo activo de las competencias *soft* de los estudiantes.

Objetivos

Como se ha indicado, el objetivo original de este trabajo comenzó siendo el estudio de las fábricas de aprendizaje, prestando especial atención a cómo se tratan dos tecnologías de la Industria 4.0 como son la simulación y los gemelos digitales. Posteriormente, con la adquisición de un modelo físico de fábrica de formación en Industria 4.0 en el departamento de Organización de Empresas de la UVa, se añadió un nuevo objetivo: la creación de los primeros talleres formativos de una fábrica de aprendizaje basados en el modelo físico adquirido.

Para lograr estos objetivos, primero se debe conocer cómo están trabajando otras fábricas de aprendizaje en distintos lugares del mundo. Este proceso requiere buscar qué fábricas de aprendizaje existen, tanto en internet como en revistas científicas, conocer el origen y sus principales características.

También será necesario estudiar el modelo físico de Industria 4.0 adquirido para poder conocer su funcionamiento y sus características, de forma que tengamos un punto de partida con el que definir los talleres.

También será necesario estudiar las metodologías de aprendizaje que se deben emplear en estos talleres, siguiendo la línea de actuación que los profesores del PID utilizan en el aula, lo que incluye, entre otros, el aprender haciendo (*learning by doing*) o el aprendizaje inverso (*flipped learning*).

Después tendremos que definir los talleres, lo que supone establecer una metodología concreta con actividades ajustadas al *learning factory* antes, durante y después de su utilización.

Estructura

Este trabajo se compone de cinco capítulos, que tratan sobre las factorías de aprendizaje y su aplicación final en un caso práctico en el entorno de la Universidad de Valladolid, además de un capítulo final que presenta el estudio económico del TFG.

En el primer capítulo del trabajo se introduce la historia de las revoluciones industriales previas, hasta llegar al tema fundamental de la cuarta revolución industrial y los conceptos clave que han sido necesarios para llevarla a cabo.

El segundo capítulo se centra en las fábricas de aprendizaje, desde su origen y definición hasta la descripción de una serie de ejemplos de fábricas con diferentes características. Se presentan unos conceptos básicos para entender la evolución de las fábricas de aprendizaje actuales hacia fábricas de aprendizaje digitales. Por último, se describen las fábricas de aprendizaje inteligentes, que sirven como base para la introducción del tema de los gemelos digitales y su posible aplicación.

El tercer capítulo describe la fábrica de formación industrial Fischertechnik adquirida como punto de partida de la fábrica de aprendizaje y que ha servido como base para la creación de una serie de propuestas de talleres de laboratorio que se describen en el capítulo 4 del presente documento.

En el capítulo 5 se recogen las principales partidas de costes del trabajo y, finalmente, se aportan las principales conclusiones a las que se ha llegado tras la realización de todo el trabajo, junto con unas futuras líneas de actuación que pueden desarrollarse a partir de su realización.

1. INDUSTRIA 4.0

El término '*Revolución Industrial*' es el nombre que se le dio a los cambios económicos y desarrollos tecnológicos que concentraron fuerza y velocidad durante el siglo XVIII produciendo el industrialismo moderno. A partir de esta primera revolución, han ido surgiendo otras que nos han guiado hacia el nivel de desarrollo industrial actual.

Las revoluciones industriales llegaron como consecuencia de cambios en factores sociales, tecnológicos, económicos y culturales, marcando un gran cambio en la historia de la humanidad. Las revoluciones incrementaron el bienestar material de la mayoría de la población, pero algunos sectores sufrieron de periodos de transición, guerra y fluctuaciones en el comercio, perturbando salarios y precios, generando peligros de los trabajadores.

1.1. Un poco de historia

A lo largo de la historia, se ha visto como durante las revoluciones industriales, una vez comenzadas, los cambios se producen con rapidez. El ciclo comienza al convertir en innovaciones tecnológicas los inventos que van surgiendo; tras esto, se crean nuevas empresas o entidades que crecen con rapidez y, para terminar, los consumidores finales demandan esos nuevos productos que mejoran la calidad de vida (Schwab, 2016).

La *primera Revolución Industrial* comenzó en el siglo XVIII (1760), con la introducción de la mecanización, la energía hidráulica y la máquina de vapor. Este proceso trajo consigo un cambio en las estructuras sociales, mejoras en la productividad, así como cambios en los métodos de transporte. Aunque su característica principal es que se trata de un periodo de cambio agregado en el empleo y en los ingresos de la agricultura hacia las actividades industriales, junto con el aumento sustancial de la producción (Trew, 2014).

La *segunda Revolución Industrial* llegó a finales del siglo XIX (1870), lo que permitió que la humanidad entrara en una nueva era de desarrollo industrial (Dogaru, 2020). Se comenzó a emplear la producción en masa y las cadenas de montaje gracias, en gran parte, al uso industrial de la electricidad, del petróleo y del gas. En este periodo empezó el desarrollo de la industria del acero, de las fábricas de materiales sintéticos y nuevos métodos de transporte y comunicación.

CAPÍTULO 1

La *tercera Revolución Industrial* comenzó durante el siglo XX (1969) y oficialmente se aprobó durante el comienzo del siglo XXI (2006); esta se conoce como una revolución científico-técnica. Las principales características que trajo consigo fueron la utilización de medios de transporte eléctricos, nuevas formas de almacenamiento de energías, el cambio de las energías procedentes de materiales fósiles a energías renovables y una red de distribución de energía inteligente.

Todas y cada una de estas Revoluciones Industriales representan un aspecto del desarrollo de la sociedad moderna y han contribuido al cambio radical de la sociedad, calidad de vida, economía y políticas de Estado.

La llegada de la *Industria 4.0* representa la *cuarta Revolución Industrial*, asociada a las fábricas inteligentes, interconectadas para optimizar las necesidades de producción y una mejor eficiencia en la utilización de recursos. Otros aspectos fundamentales en esta revolución son el internet de las cosas (IoT, *Internet of Things*), el empleo de la robótica o las fábricas inteligentes.

Esta revolución marca un momento esencial en la evolución de la humanidad ya que es la primera basada en el fenómeno tecnológico de la digitalización y no en la introducción de un nuevo tipo de energía (Dogaru, 2020). De hecho, la digitalización es capaz de crear un mundo virtual desde el cual se es posible dirigir el mundo físico.

Como la cuarta Revolución Industrial se apoya en las tecnologías digitales, también es denominada 'Revolución Digital', siendo la revolución que involucra una fusión de tecnologías que acercan el mundo físico al biológico y digital. El objetivo principal de esta revolución es que tiene el potencial de aumentar las ganancias y el estándar de vida de la sociedad. A través de tecnologías avanzadas se crean categorías de productos y servicios que pueden facilitar y acomodar las vidas personales y profesionales.

Aunque las empresas están aún tratando de entender y asimilar este cambio de paradigma, algunos investigadores ya empiezan a hablar sobre la *quinta Revolución Industrial*, aunque es tan novedoso que incluso los expertos a escala mundial todavía no tienen clara una definición común de lo que tratará. Un tema emergente es la cooperación en el trabajo de humanos y robots. En los últimos años se han producido avances significativos en robótica e inteligencia artificial. Hoy, hay robots para infinidad de tareas a precios accesibles en el mercado. Aunque hay muchos estudios sobre la colaboración robot-humano para tareas de nivel bajo con el objetivo del desarrollo de los robots, se echan en falta estudios centrados en tareas organizativas emergentes de la cooperación en el trabajo de robots y humanos (Alpaslan, Döven, & Sezen, 2019).

1.2. Algunos conceptos clave

1.2.1. Globalización

La globalización se define según (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019) como la integración global de negocio, cultura, política y otras áreas, con el fin de tener mejor calidad de tráfico tecnológico y liberación del mercado global.

El ejemplo de la industria alemana muestra como la producción de bienes de alta calidad en redes internacionales tiene un efecto positivo en el mercado laboral nacional de la industria, siempre que la producción se mantenga en el propio país. Este mantenimiento de puestos de trabajo solo puede llevarse a cabo con personal formado y bien entrenado, con pensamiento global y actuación local.

El aseguramiento de los bienes de la mayor calidad es un prerequisite indispensable; por ello, es necesario un alto nivel de posibilidad de cambio y flexibilidad en los sistemas de producción y con un nivel de productividad líder en comparación con el mercado internacional.

1.2.2. Digitalización

La digitalización de una empresa constituye un requerimiento básico para entrar en esta revolución industrial y, a su vez, una fuente de abundantes oportunidades: 'nuevas tecnologías implican nuevas oportunidades' (Oberländer, Röglinger, & Rosemann, 2021). Un ejemplo claro es la invención de la rueda, que no solo facilitó el transporte, sino que también revolucionó la manufactura textil y la producción alimentaria. Como resultado, una innovación digital emerge en forma de nuevos productos, servicios y modelos de negocio basados en la combinación de tecnologías digitales.

Tradicionalmente, la innovación digital se centraba en la digitalización y sus procesos internos. Los estudios de los sistemas de información más recientes han reconocido los efectos transformadores de las tecnologías digitales en productos, servicios y modelos de negocio.

Aunque el uso de tecnologías digitales es considerado como necesario para la innovación digital, el alcance y los límites de las tecnologías digitales todavía no ha sido definida de manera consistente. Normalmente descrita como el uso de recursos digitales o la combinación de tecnologías de la información, computación, comunicación y conectividad, la tecnología digital es comúnmente usada como término de las tecnologías de la información en el contexto de la digitalización (Oberländer, Röglinger, & Rosemann, 2021).

La innovación digital está unida de forma cercana a la transformación digital, de forma que puede llevar a una transformación fundamental de la existente estructura, prácticas, valores, roles, habilidades y cultura (Hinings, Gegenhuber, & Greenwood, 2018).

CAPÍTULO 1

Es por lo que Amaral & Peças (2011) defiende que un proceso de digitalización debería abarcar los principios de diseño de la Industria 4.0 para ser considerado como una digitalización orientada al 4.0.

1.2.3. Ciclos dinámicos de vida de productos

En las últimas décadas se ha notificado un incremento en la demanda de productos a medida, lo que ha dado lugar a ciclos de vida de los productos más cortos. Estos ciclos se refuerzan con los avances técnicos y el intento de vender más productos a través de más innovaciones en unos mercados ya saturados (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

Se considera el ciclo de vida de un producto como la fuente principal de demandas dinámicas, que es particularmente relevante para productos con ciclos de vida cortos como bienes de alta tecnología, electrónica de consumo o ropa de moda (Seifert, Tancrez, & Biçer, 2016). Con ciclos de tiempo más corto, es posible generar ventas adicionales en mercados ya maduros con variaciones de productos.

El ciclo de vida del producto se representa como una secuencia de las siguientes etapas: introducción, crecimiento, madurez, declive y fin de vida útil. El momento de transición entre estas etapas es incierto.

La reducción de los ciclos de vida de los productos presenta una serie de desafíos y necesidades relacionadas con la capacidad del personal, que son (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019):

- el riesgo de las inversiones incrementa ya que un periodo de tiempo más corto está disponible para recuperar el capital invertido.
- altas demandas en la habilidad de cambiar y adaptarse de toda la empresa, las fábricas y los trabajadores.
- productos complejos aumentan las demandas de las habilidades de los trabajadores.
- demandas más altas en la flexibilidad de las plantas de producción y trabajadores debido a la individualización de los productos.
- efectos de la reducción de costes resultante de las curvas de aprendizaje basadas en actividades repetitivas son mitigados en estos ambientes.

1.2.4. Riesgo de inestabilidad

Para los directores de las empresas, el mercado en crecimiento y las dinámicas económicas hacen difícil prever futuros desarrollos relevantes y ajustar la empresa de acuerdo con estos. Estas inestabilidades, como las rupturas de los mercados, los cuellos de botella en las materias primas, embargos o crisis políticas hacen que planificar la producción global a largo plazo y de manera estable, sea difícil o casi imposible.

Como consecuencia, las fábricas deben ser diseñadas de forma flexible y versátil; lo que no siempre se puede conseguir en ambientes altamente automatizados.

El aumento del riesgo por inestabilidad hace que el personal de la industria tenga que hacer frente a una serie de desafíos derivados de estos (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019):

- flexibilidad, para una rápida adaptación.
- intercambiabilidad, para adaptarse a cambios no previstos en el entorno de negocio.
- robustez y resiliencia.
- anticipación de oportunidades ante posibles cambios en entornos de negocio.

1.3. Industria 4.0

Aunque la Tercera Revolución Industrial supuso un cambio en la digitalización de algunos procesos, no fue hasta la llegada de la Cuarta Revolución Industrial cuando se esperaba el mayor nivel de digitalización, automatización y descentralización en el mundo de la industria global. Esta tuvo un importante impacto sobre las reglas de la competencia, el mercado de trabajo e incluso sobre las prioridades educativas (Ghobakhloo, Fathi, Iranmanesh, Maroufkhani, & Morales, 2021).

1.3.1. Principios de diseño de la Industria 4.0

La transformación digital que se lleva a cabo en la Industria 4.0 requiere que se disponga de unas condiciones más enfocadas tecnológica y organizativamente. A su vez, requiere ir desarrollando unas nuevas tecnologías y un amplio abanico de principios de diseño. Algunos de estos principios más importantes son (Meindl, Ayala, Mendonça, & Frank, 2021):

- *Fabricación inteligente.* Muchos estudios lo consideran como un sinónimo del concepto de Industria 4.0. Una definición dada por Kusiak (2018): “*La fabricación inteligente integra los activos de la fabricación de hoy y del mañana, con sensores, plataformas computacionales, tecnologías de comunicación, así como la ingeniería predictiva. Utiliza los conceptos de los sistemas ciber-físicos, el internet de las cosas (IoT, internet of Things), servicios en la nube, computación orientada a los servicios y la ciencia de los datos.*” Con esta definición se muestra cómo se utilizan las tecnologías base de la Industria 4.0 (IoT, nube, *big data* e inteligencia artificial) para alcanzar sistemas de fabricación ciber-físicos y producción inteligente. La fabricación inteligente también tiene en cuenta el mantenimiento inteligente basado en la inteligencia artificial para predecir posibles errores y anticiparse a paradas del equipo. Además, tiene en cuenta el diseño inteligente (diseño asistido por ordenador, diseño 3D, prototipos, control de ciclos de vida) para cumplir con los requisitos impuestos por los clientes de manera efectiva.

CAPÍTULO 1

- *Trabajo inteligente.* Este principio define la manera en la que las tecnologías son usadas para apoyar a los trabajadores en las actividades de las fábricas. Mientras que algunos autores apuntan a que el trabajador acabará adaptándose a la Industria 4.0 como un “trabajador inteligente”, otros creen que la maquinaria inteligente sustituirá trabajos de bajo valor. Con el trabajo inteligente se busca sacar lo mejor de los trabajadores utilizando y aplicando avanzadas tecnologías para ayudar en los procesos de decisión, manejar conocimientos, fomentar creatividad y diseño, e incrementar la seguridad.
- *Cadena de suministro inteligente.* Se trata de la primera dimensión externa de la Industria 4.0. Las tecnologías usadas para lograr el control integral (sensores, análisis de macrodatos, control descentralizado) pueden garantizar los productos adecuados, en el lugar, tiempo, cantidad y condición adecuados. Conocer la demanda en tiempo real y de manera personalizada es posible gracias a dispositivos inteligentes y a través de aplicaciones, páginas web o soluciones basadas en el Internet de las cosas.
- *Productos y servicios inteligentes.* Es la segunda de las dimensiones externas de la Industria 4.0. Los productos inteligentes son productos ayudados por las tecnologías 4.0 para recoger, monitorizar, controlar y optimizar los datos. Los servicios inteligentes, a su vez, emplean tecnologías digitales para ofrecer servicios a sus usuarios. Todo esto puede desarrollarse para convertirse en un producto-servicio inteligente trabajando de forma conjunta.
- *Interoperabilidad.* Indica la capacidad de dos o más sistemas de coexistir, interactuar (intercambiar información), interoperar y compartir fuentes. Se refiere a la habilidad de los componentes de sistemas ciber físicos de tener diferentes estándares para conectar y comunicarse con otros (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).
- *Modularidad.* Es un concepto de la ingeniería que se refiere al grado en que un producto o sistema puede ser descompuesto en módulos recombinables. Se aplica a diferentes etapas del ciclo de producción, permitiendo la customización masiva y los sistemas de manufactura ágiles y flexibles (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).
- *Descentralización.* Significa que la red del sistema, donde se toman las decisiones, no está centralizada. Está directamente relacionado con la idea de la auto organización y comportamientos emergentes, donde los componentes de niveles inferiores actúan sobre la información local para alcanzar objetivos globales (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).
- *Autonomía.* Generalmente significa que un sistema puede operar y tomar decisiones automáticamente, sin instrucciones externas o intervención. También sugiere capacidades de aprendizaje, es decir, la habilidad del sistema de aprender y adaptarse. La autonomía equipa a los sistemas de producción con la capacidad de responder a eventos de manera inteligente (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).

- *Flexibilidad*. Se refiere a la habilidad de los sistemas de manufactura y red de cadenas de suministro de adaptarse y responder a la demanda y ambientes cambiantes (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).

1.3.2. Tecnologías de la Industria 4.0

Estos principios se apoyan en nueve tecnologías clave (Di Bona, Cesarotti, Arcese, & Gallo, 2021): internet de las cosas (IoT), macrodatos, sistemas de integración vertical y horizontal, simulaciones, la nube, realidad aumentada, robots autónomos, impresión 3D y ciber seguridad.

El *Internet de las cosas (IoT, Internet of Things)* es un concepto que pertenece a la nueva era de computación. Se basa en la proliferación de dispositivos donde los sensores y actuadores se mezclan con su entorno, para compartir información a través de distintas plataformas. La nube puede suministrar la infraestructura necesaria para llevarlo a cabo, y la tecnología sin cables, *Wi-Fi* y *Bluetooth* transmite los datos entre dispositivos (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013).

Los *Macrodatos (Big Data)* hacen referencia a tamaños de datos de rango exabytes y superior, los cuales no pueden guardarse en los almacenamientos *on-line* y sistemas de procesamiento de datos. No solo el volumen de datos es una de las variables que soluciona el *big data*, también la velocidad a la que se transmite, el valor y su complejidad. El almacenamiento y transporte de datos parece solucionado hoy en día, pero plantea un paradigma futuro (Kaisler, Armour, Espinosa, & Money, 2013).

La tercera tecnología de la Industria 4.0 son los *Sistemas de integración vertical y horizontal* cuyo propósito es introducir y tomar ventaja del mundo interconectado a lo largo de toda la cadena de suministro. La integración horizontal optimiza desde el comienzo con los proveedores, materiales y logística, coordinando y conectando cada eslabón creando, de este modo, un ecosistema dinámico. Por su parte, la integración vertical se realiza a través de sistemas ciber-físicos (CPS, *Cyber-Physical System*); no solo permite la integración interna, sino que también consigue una integración más fluida de otros sistemas (Peres, Rocha, Leitao, & Barata, 2018).

Además, encontramos la *Simulación*, que se define como el proceso de diseño de modelos de un sistema real o hipotético para describir y analizar el comportamiento de dicho sistema. Los componentes principales que se encuentran son: el modelizado (proceso de creación de un modelo), el modelo (representación abstracta y simplificada de un sistema, compuesto de una serie de suposiciones a menudo representadas por relaciones matemáticas o lógicas), el sistema (el proceso que es analizado), el proceso (colección de elementos interrelacionados) y la simulación (funcionamiento de un modelo a lo largo del tiempo).

La simulación es una metodología fundamental para analizar complejos sistemas de producción y resolver problemas (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020). Hay

CAPÍTULO 1

varios enfoques basados en la simulación, y en la Figura 1 se muestran los relacionados con el contexto de la Industria 4.0.

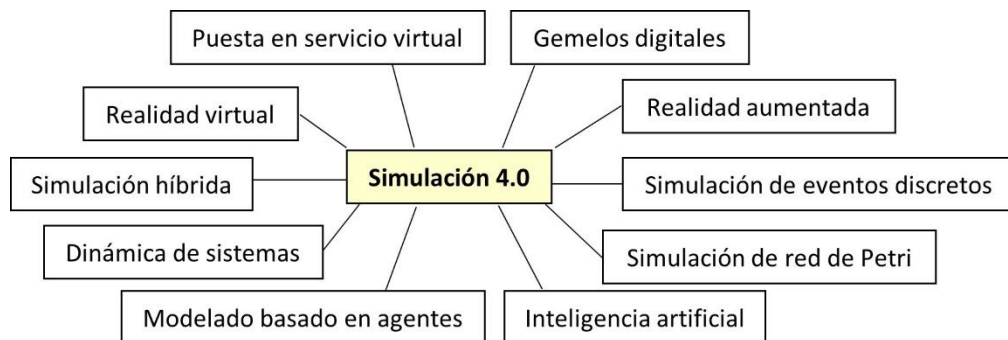


Figura 1. Enfoques basados en la simulación en el contexto de la Industria 4.0. Adaptado de (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020)

La *Nube* o el servicio en la Nube se compone de varias tecnologías que se encargan de acceder de forma remota al software, procesar datos y almacenarlos mediante la conexión a Internet o servicios internos de las propias empresas. Permite acceder de forma remota sin necesidad de tenerlo instalado en un ordenador concreto.

Con la *Realidad aumentada (AR, Augmented Reality)* se logra unir el mundo real con el virtual con el propósito de generar un mayor conocimiento de nuestro entorno. Para ello, necesita basarse en un ambiente simulado 3D donde las personas perciban nuevas experiencias realistas con gran cantidad de datos en un periodo corto de tiempo. Para alcanzarlo, se utilizan entornos de aprendizaje virtual (*VLE, Virtual Learning Environment*), que son herramientas ventajosas para alcanzar el propósito de aprendizaje o enseñanza en procesos de producción.

También resultan clave los avances en Robótica y en los *Robots autónomos*. La rapidez con la que se ha desarrollado la tecnología ha hecho que cambie la situación de los robots y su interacción con el trabajador. Actualmente, los robots garantizan la seguridad del trabajador a la vez que cooperan con ellos en un ambiente de trabajo más eficiente. Por ejemplo, existen robots colaborativos que realizan tareas simultáneas al trabajador, lo que permite una mejor flexibilización de la producción (Sadik & Urban, 2017).

Por su parte, destaca la *Impresión 3D*. Aunque esta comenzó a utilizarse en la década de los 90, actualmente se está utilizando en gran cantidad de áreas tecnológicas. Este método de impresión ha permitido trasladar el diseño virtual y conceptual al mundo real y físico, favoreciendo el análisis de estructuras y prototipos. Está considerado como un método de fabricación aditiva, de construcción capa a capa que hace posible crear a cualquier nivel de complejidad directamente desde un diseño CAD (Aamer, Azhar, Nazir, & Li, 2020).

Por último, encontramos la *Ciberseguridad*. Con el avance y progresos de las nuevas tecnologías, surgen paralelamente nuevas vías susceptibles de recibir ataques. En el ámbito de la fabricación, hay que garantizar que el producto final se adapta a los diseños originales y se mantiene seguro para trabajadores y clientes. La ciberseguridad es la encargada de proteger todos estos aspectos y evitar problemas futuros con la prevención, detección y mitigación de los efectos de un ataque (Wells, Camelio, Williams, & White, 2014).

La cuarta revolución industrial puede ser entendida, no solo por la implementación de las tecnologías citadas anteriormente, sino también por lo que las empresas pueden hacer con dichas tecnologías. Una manera de ver este concepto es viendo cómo una empresa puede crear más valor para un cliente desde los datos disponibles que se han ido recogiendo por sus tecnologías subyacentes.

En la Figura 2 se ilustra una visión de los patrones de adopción de las tecnologías de la Industria 4.0. En ella se puede ver la relación de las principales tecnologías empleadas con los principios de diseño básicos citados anteriormente.

Las etapas de las que consta hacen referencia a lo que está ocurriendo en el sector industrial basado en evidencias empíricas. También divide la complejidad de integración en función del color, mostrando de los más implantados (gris oscuro) a los menos implantados (gris claro). Se representan esas intensidades como una complejidad creciente a la hora de implantar una secuencia de etapas.

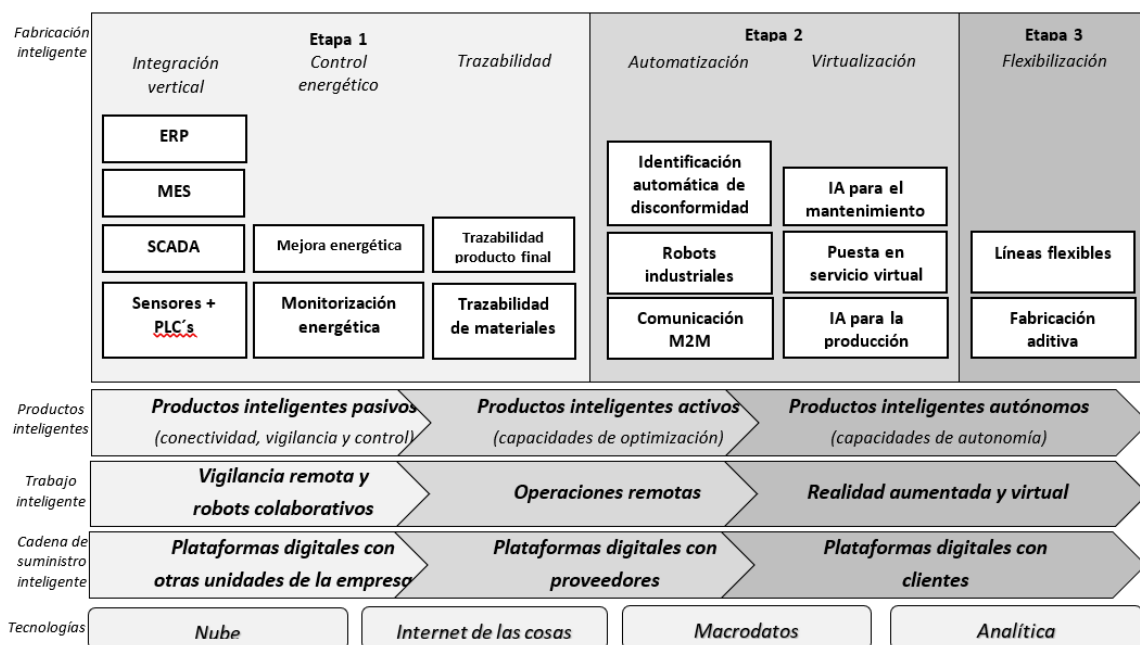


Figura 2. Tecnologías empleadas en Industria 4.0. Adaptado de (Germán, Santos Dalenogare, & Ayala, 2019)

CAPÍTULO 1

1.3.3. Relaciones de los principios básicos de la Industria 4.0 y clasificación

Todos los principios de diseño de la Industria 4.0 están relacionados en algún grado. Aunque va más allá del alcance del estudio de este trabajo, es importante resaltar algunas de las relaciones clave (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020).

- La interoperabilidad habilita la integración vertical y horizontal (Mabkhot, Al-Ahmari, Salah, & Alkhalefah, 2018). Esta tecnología permite la integración al proveer una interoperabilidad para sistemas conectados, permitiendo a dispositivos, máquinas, procesos y sistemas comunicarse y transmitir información del nivel operativo al nivel de negocio.
- La modularidad permite la flexibilidad, agilidad y personalización del producto. También contribuye al incremento de la flexibilidad y de la agilidad de los sistemas de producción, es decir, a la capacidad de responder de manera más rápida a las fluctuaciones de la demanda.
- La integración vertical permite la fábrica inteligente (Tavçar & Horváth, 2019).
- La fabricación inteligente permite la ingeniería digital de extremo a extremo.
- La virtualización de los sistemas de producción depende de las capacidades en tiempo real. También sugiere que los sistemas ciber físicos pueden monitorear los procesos físicos. Está asociado con los gemelos digitales, donde los sensores de datos están unidos a modelos de plantas virtuales y de simulación; para analizar, monitorizar y optimizar los procesos físicos en tiempo real.
- La descentralización puede conseguirse a través de los productos inteligentes (Hermann, Pentek, & Otto, 2016), debido a las capacidades de estos para almacenar e intercambiar datos con procesos inteligentes a lo largo de su vida.

1.3.4. Esquema de clasificación y evaluación

Para ayudar a un análisis más profundo y evaluar los aspectos centrales del estudio, se emplea una clasificación (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020) en cinco categorías principales, que se dividen, a su vez, en diferentes subcategorías, tal y como se muestra en la Figura 3.

La primera categoría representa los acercamientos basados en la simulación identificados a través de análisis cuantitativos y cualitativos, como se han descrito previamente. La segunda categoría, adaptada de (Jahangirian, Eldabi, Naseer, Stergioulas, & Young, 2010), es usada para evaluar la naturaleza empírica del estudio. Aquí, la solución a problemas reales hace referencia a modelos que usan datos reales reunidos de procesos reales para resolver un problema real.

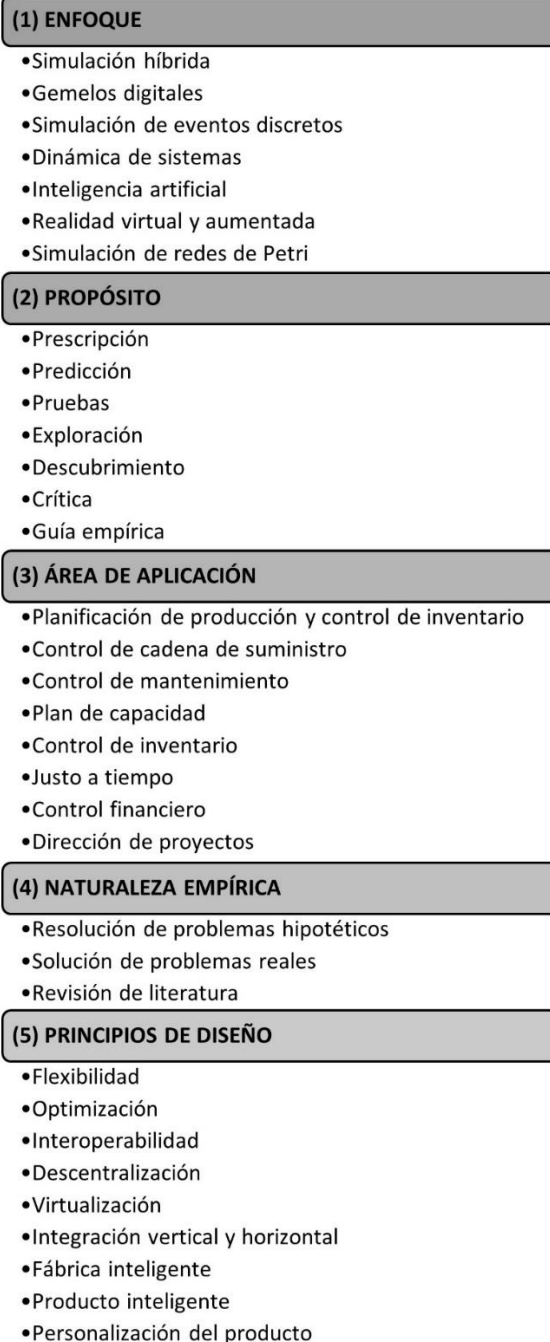


Figura 3. División y clasificación de los principios básicos de la Industria 4.0. Adaptado de (de Paula, Armellini, & de Santa-Eulalia, 2020)

La tercera categoría, adaptada de (Harrison, Lin, Carroll, & Carley, 2007), clasifica el propósito o uso de los modelos de simulación en siete subcategorías: (1) *predicción* o análisis de las relaciones de las variables a través de las salidas de la simulación; (2) *demonstración*, hace referencia al comportamiento del sistema resultante, usado para mostrar que el sistema modelado puede producir tipos específicos de comportamiento; (3) *descubrimiento* o identificación de comportamientos inesperados a través del análisis de las interacciones de entidades del sistema; (4) *exploración* o análisis de las

CAPÍTULO 1

condiciones donde un comportamiento particular es producido; (5) *crítica* o examen de las explicaciones existentes a un fenómeno; (6) *prescripción*, es decir, recomendaciones para mejorar la efectividad de las operaciones; y finalmente, (7) *guía empírica*, da soporte al desarrollo de nuevas teorías e investigaciones empíricas.

La cuarta categoría, adaptada de (Harrison, Lin, Carroll, & Carley, 2007) y (Jahangirian, Eldabi, Naseer, Stergioulas, & Young, 2010), se utiliza para clasificar los estudios por área de aplicación relacionado con el campo de la ingeniería industrial. Por último, la quinta categoría agrupa los principios de diseño de la Industria 4.0 identificados a través del análisis cualitativo de estudios.

2. FÁBRICAS DE APRENDIZAJE

2.1. Concepto

A partir de los desarrollos en Industria 4.0, se están utilizando varias formas de aprendizaje relacionadas con el trabajo. En particular, (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019) identifican tres: aprendizaje integrado en el trabajo, aprendizaje conectado con el trabajo y aprendizaje orientado al trabajo.

Se define el concepto de *aprendizaje integrado en el trabajo (WI, Work Integrated)* como un lugar de aprendizaje igual al lugar de trabajo, traduciéndose en procesos entrelazados entre sí. Actualmente, este concepto se centra en las competencias necesarias para llevar a cabo los procesos de trabajo. También interesan y son necesarios los métodos de acercamiento a la enseñanza, con competencias que son necesarias para una mejora continua en los procesos de trabajo y respuesta a los problemas de las grandes empresas.

Otra variante es el *aprendizaje conectado con el trabajo (WC, Work Connected)* que utiliza localizaciones de trabajo y aprendizaje separadas, aunque están espacial y organizativamente conectadas. La digitalización permite estaciones de aprendizaje dinámico, capaces de adaptarse a distintas situaciones y grupos objetivo.

La última forma es el *aprendizaje orientado al trabajo (WO, Work Oriented)*, donde el aprendizaje tiene lugar en espacios separados del lugar de trabajo, como centros de entrenamiento o universidades. El entorno de aprendizaje contiene algún tipo de proceso de trabajo de simulación y tareas para orientarlo hacia el trabajo. Las fábricas de aprendizaje o *learning factories* pueden compensar algunos de los inconvenientes de este tipo de aprendizaje, cambiando la falta de motivación por un alto grado de realismo.

El término "*learning factory*" está formado por las palabras "aprendizaje" y "fábrica", por lo que comúnmente se emplea con sistemas que hablan de ambas. Su funcionamiento se basa en la simulación de ambientes reales de trabajo con propósitos educativos, de entrenamiento o de investigación. Según (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019), hoy en día las fábricas de aprendizaje están más centradas en la transferencia tecnológica y la investigación que en la educación y el entrenamiento. Aun así, el aspecto de la educación seguirá siendo importante debido al rápido y constante cambio de los métodos de fabricación. Las fábricas de aprendizaje aportan un punto de flexibilidad e

CAPÍTULO 2

intercambiabilidad que ha sido identificado como importante para tratar una gran variedad de posibles problemas (Matt, Rauch, & Dallasega, 2014).

Para comenzar a desarrollar un modelo en una fábrica de aprendizaje se deben seguir una serie de pasos, que están recogidos en la Figura 4. El desarrollo cubre diferentes bucles. Las iteraciones se realizan principalmente durante la etapa de desarrollo (estructura y contenido) y desde la evaluación de vuelta hacia los pasos de desarrollo (Enke, Metternich, Bentz, & Klaes, 2018). La etapa de desarrollo de la estructura del modelo incluye el diseño de la arquitectura del modelo general, la determinación y descripción de niveles de madurez, así como la definición del nivel de granularidad con respecto a la maduración.

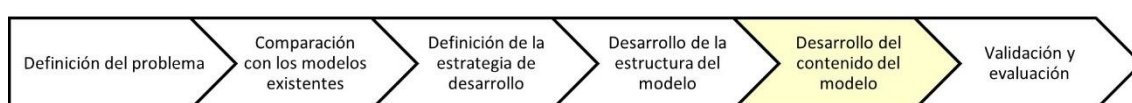


Figura 4. Desarrollo del modelo. Adaptado de (Enke, Metternich, Bentz, & Klaes, 2018)

2.2. Origen

La historia de las fábricas de aprendizaje comenzó a final de la década de los 80 y principios de los 90, con la gran conocida hoy en día Fábrica de aprendizaje CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) en Alemania y la famosa fábrica de aprendizaje de la Universidad del Estado de Pennsylvania.

A partir del año 2000, el concepto de la *fábrica de enseñanza* comenzó a ganar interés, sobre todo en Estados Unidos. Aproximadamente, dos décadas después de la Fábrica de aprendizaje CIM, hubo una segunda ola de fábricas de aprendizaje en Europa; introduciendo el término de *fábrica de aprendizaje local*, variando ampliamente, entre otras, en tamaño, sofisticación y los temas que abordaban.

En 2011, la “1ª Conferencia sobre Fábricas de aprendizaje” tuvo lugar en Darmstadt y en esta ocasión se fundó la Iniciativa Europea de Fábricas de aprendizaje (*IELF, Initiative on European Learning Factories*). En los sucesivos años, el gran potencial de las fábricas de aprendizaje y enseñanza contribuyeron a un crecimiento progresivo de la comunidad (Tisch & Metternich, 2017).

La Figura 5 muestra el número de documentos al año bajo el nombre “*learning factory o teaching factory*” que se suben a *Google Scholar* desde los últimos treinta años. Se observa como existe una primera etapa hasta principios de los años 2000, con la fábrica de aprendizaje CIM de Stuttgart, el término fábrica de aprendizaje usado en la Universidad de Pennsylvania y el concepto fábrica de enseñanza creado en los Estados Unidos.

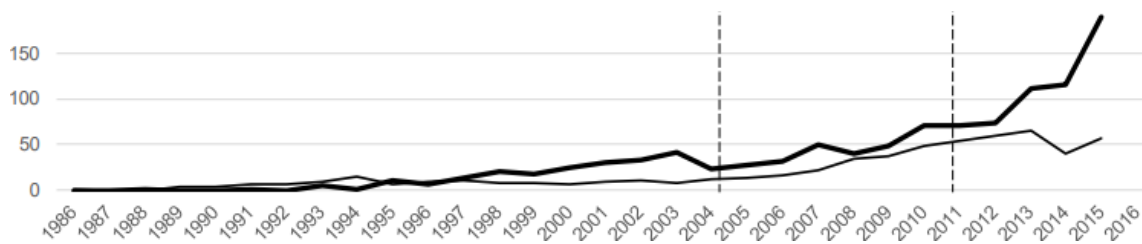


Figura 5. Desarrollo histórico de los acercamientos a fábricas de aprendizaje y número de documentos en Google Scholar con respecto a fábricas de aprendizaje y enseñanza. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017)

En la segunda etapa, que abarca hasta el año 2011, se comienzan a extender las fábricas de aprendizaje locales por Europa. Por último, encontramos la tercera etapa, que llega hasta la actualidad, donde se ha multiplicado su uso y cada vez está más extendido por todo el mundo.

2.3. Potencial de las fábricas de aprendizaje

En este apartado se identifica y describe el potencial que tienen las fábricas de aprendizaje para la educación y entrenamiento, así como para la transferencia de innovación.

2.3.1. Potencial para la educación y el entrenamiento

Para el proceso de aprendizaje orientado al trabajo se diferencian dos enfoques distintos: el primero es el de asimilación de la información, donde primero se explica el contenido y posteriormente se aplica y comprueba; el segundo enfoque es el de aprendizaje experimental, donde la aplicación es la base para comprender el contenido (Tisch & Metternich, 2017).

En el contexto de las fábricas de aprendizaje, estos conceptos se describen como “*theory push*” y “*problema pull*”. La Figura 6 ilustra el soporte y las mejoras a través de la integración en las fábricas de aprendizaje de ambos tipos de procesos de aprendizaje en el ámbito de la educación y el entrenamiento.

Además, los procesos de aprendizaje pueden resumirse en circuitos de retroalimentación, donde los comportamientos del líder modifican el ambiente. La forma en la que el mundo físico cambia proporciona al líder información sobre el dicho sistema. Esta información la puede usar para conseguir comprender mejor su comportamiento y, de este modo, tomar decisiones que converjan en los objetivos buscados.

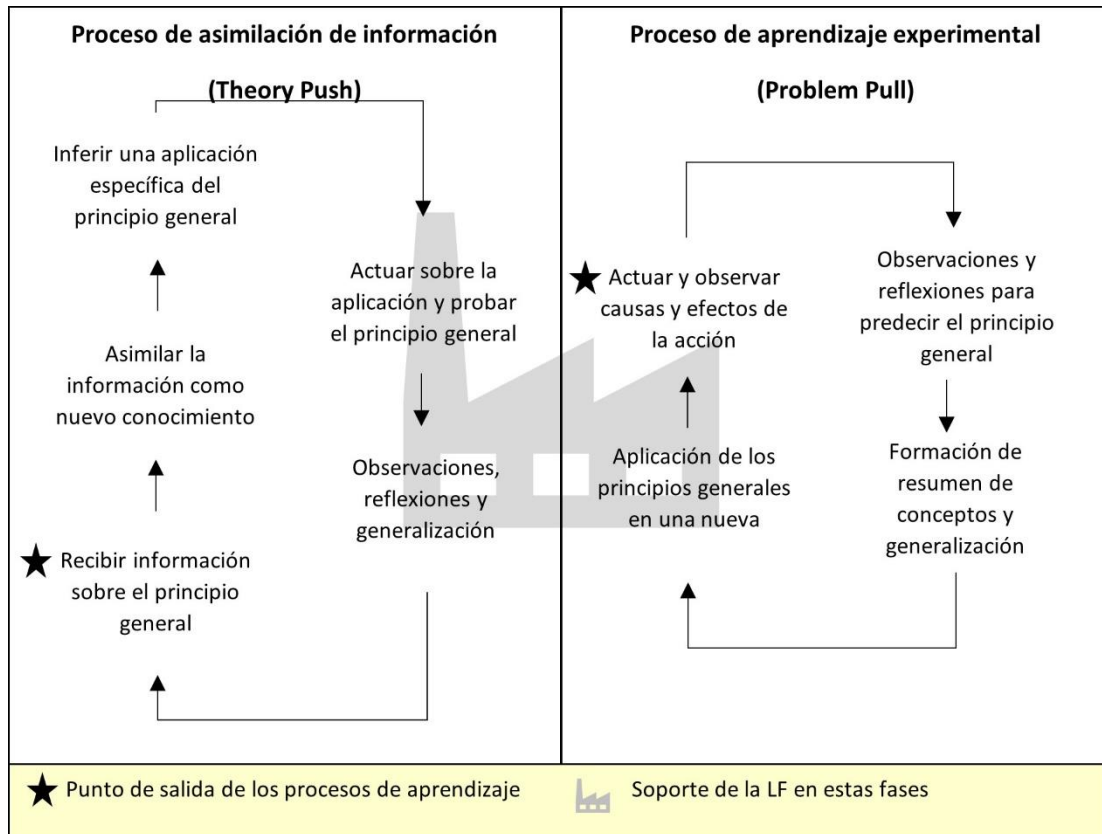


Figura 6. El rol de las fábricas de aprendizaje en la asimilación de la información y aprendizaje experimental. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017)

2.3.2. Potencial para la investigación, demostración y transferencia de innovación

La Figura 7 muestra la integración de fábricas de aprendizaje como facilitadores de investigación en los procesos de estudio. En este caso, los problemas de la investigación se identifican, describen y se solucionan dentro del modelo físico de las fábricas de aprendizaje con menores costes y complejidad en comparación con la realidad. Independientemente del mecanismo de investigación, los ambientes de las factorías de aprendizaje se usan frecuentemente como configuraciones de validación (Tisch & Metternich, 2017).

Además, las empresas persiguen utilizar las últimas tecnologías y el “Know-how” (saber cómo) más reciente. Las fábricas de aprendizaje ofrecen un alto potencial para mostrar y transferir innovación.

En este caso, las fábricas de aprendizaje ofrecen una tecnología orientada a la aplicación y plataformas de innovación que permiten investigar y desarrollar hasta que el mercado llega a la madurez de los procesos de producción, tecnologías de producción y de los productos.

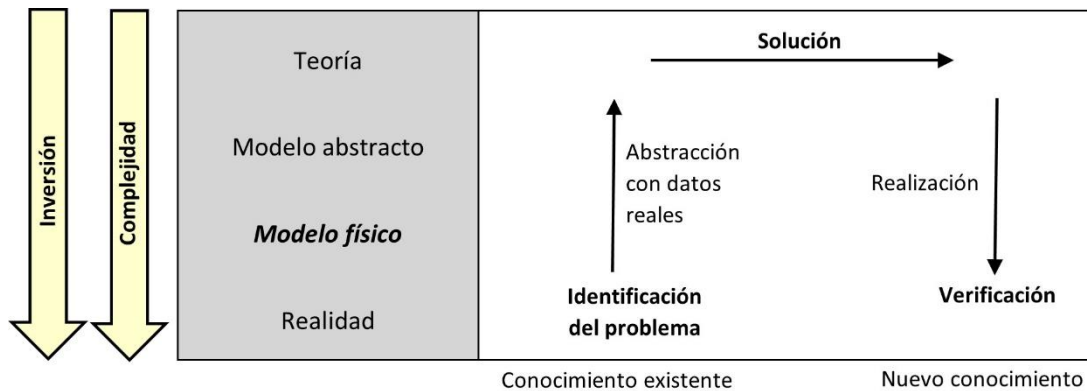


Figura 7. Fábricas de aprendizaje como facilitadores de la investigación. Adaptado de (Tisch & Metternich, 2017)

2.4. Limitaciones de las fábricas de aprendizaje

Entre las limitaciones que se dan en las fábricas de aprendizaje se encuentran los recursos necesarios, la capacidad de mapeo de los problemas, la escalabilidad, la movilidad y la eficacia (Tisch & Metternich, 2017).

- *Recursos limitados.* Conceptualizar, construir y operar fábricas de aprendizaje requiere muchos recursos. Algunos recursos son obligatorios como el equipo apropiado y el espacio correspondiente, personal adecuado, así como el contenido de alta calidad que puede ser utilizado y experimentado en la fábrica de aprendizaje. Durante la construcción y la operación de la fábrica de aprendizaje cualquier falta de recursos puede ser un obstáculo insalvable.
- *Capacidad de mapeo de problemas limitada.* Las fábricas de aprendizaje, como imagen de una factoría real, representan los procesos y las configuraciones de ambientes industriales. En consecuencia, una fábrica de aprendizaje por sí sola no es capaz de mapear de manera adecuada todos los desafíos de la industria. Además, las fábricas de aprendizaje llegan a límites cuando los bucles de retroalimentación llevan demasiado tiempo y no hay posibilidad de acortarlos. Cuanto más corta sea la duración del módulo de aprendizaje, más rápido se alcanzarán los límites mencionados.
- *Escalabilidad limitada.* La escalabilidad en las fábricas de aprendizaje es limitada en comparación con otros conceptos educativos. Además de eso, las instalaciones de la fábrica de aprendizaje son otro factor limitante de la capacidad ya que, normalmente, solo permiten un curso a la vez.
- *Movilidad limitada.* Las fábricas de aprendizaje son generalmente inmóviles, construidas en localizaciones concretas y disponibles en una región concreta.
- *Eficacia limitada.* Como se ha mencionado anteriormente, las fábricas de aprendizaje se identifican por seguir un objetivo de desarrollar competencias, pero la eficacia de las propuestas rara vez se examina. El diseño de fábricas de aprendizaje efectivas requiere tener en consideración objetivos y fases de evaluación orientadas a los objetivos.

CAPÍTULO 2

2.5. Evolución hacia la Industria 4.0

La evolución de las fábricas de aprendizaje hacia el entorno de la Industria 4.0 puede transformar las oportunidades educativas que hay disponibles. Estas fábricas han sido principalmente usadas para enseñar los métodos del sistema de producción de Toyota y la fabricación eficiente desde que la primera fábrica de aprendizaje fuese abierta en Alemania en el TU-Darmstadt (Simons, Abé, & Nesar, 2017).

En los últimos años, la complejidad y requerimientos en la industria han aumentado. La implementación del equipamiento automatizado elevó la calidad de los productos, al mismo tiempo que hacía los procesos de fabricación más eficientes (Li, Yang, Wang, Li, & Zheng, 2019). Para ello, se basa en dos de los conceptos nombrados anteriormente: las fábricas inteligentes y el internet de las cosas. Las fábricas inteligentes se centran en integrar sensores y máquinas de fabricación para compartir información gracias al internet de las cosas, extraer los datos captados por esos sensores para ser analizados (Spillanea, Menolda, & Parkinson, 2020).

La producción eficiente y la digitalización han sido a menudo considerados objetos de estudio por separado. Por un lado, la producción eficiente como sistema dinámico busca realizar una corriente de valor con los menores recursos y dar lugar a mejores productos bajo los estándares de optimización continua. Por otro lado, la digitalización de la producción, característica principal de la Industria 4.0, se centra en la visión guiada por la tecnología de la combinación del mundo físico y del mundo virtual.

Así pues, la implementación de la fabricación eficiente debería basarse primero en procesos de fabricación que lleven a una mayor eficacia de las tecnologías digitales. En el pasado, la productividad de los sistemas de producción podía basarse en el empleo de métodos de fabricación eficientes. En la actualidad, la productividad puede aumentarse mucho más con la introducción de la digitalización.

2.6. Ejemplos prácticos de fábricas de aprendizaje

La industria manufactura hace frente al reto de cambiar la producción en masa por una producción a medida, con una alta presión sobre el coste de producción. La productividad, la calidad del producto y la flexibilidad de la producción tienen que incrementarse, mientras que deben reducirse los tiempos de suministro y de inventario (Simons, Abé, & Nesar, 2017).

Con el fin de hacer frente a todos esos retos, se lanzó en Alemania una iniciativa estratégica de la Industria 4.0. Las principales tecnologías para afrontar todos estos retos son un aumento en la tecnología de automatización de las plantas de producción, y una integración simultánea de tecnologías de la información y de las tecnologías de la automatización.

En lo relativo a las tecnologías de la Industria 4.0, es necesario que los ingenieros mejoren sus competencias profesionales, sociales, metódicas y personales mostrados en la Figura 8.

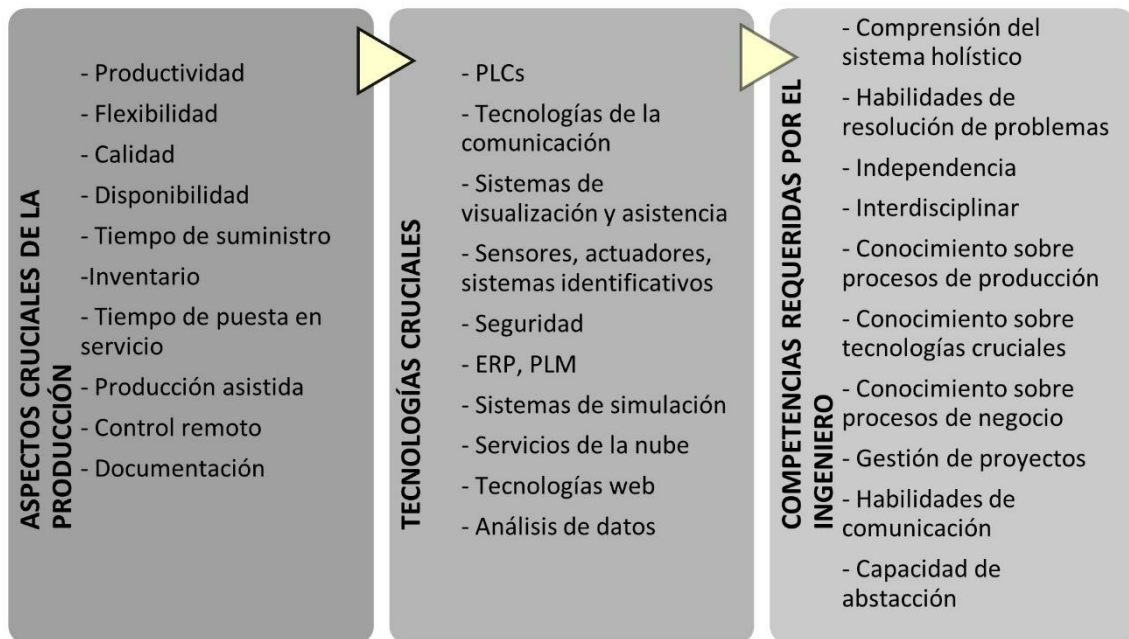


Figura 8. Aspectos cruciales de la producción, tecnologías y competencias requeridas. Adaptado de (Simons, Abé, & Nesper, 2017)

A continuación, se van a describir algunos de los ejemplos prácticos de fábricas de aprendizaje más importantes que existen en universidades y centros de investigación (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

Para poder analizar y comparar los distintos ejemplos, se va a tener en cuenta de cada uno de ellos el año en que se crearon, dónde están ubicados, su tamaño y su origen. A mayores se señalan en una tabla las principales características de cada uno de ellos.

2.6.1. AutFab en la Universidad de las Ciencias Aplicadas de Darmstadt (Alemania)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** AutFab
- **Operador:** Dr. S. Simons, Facultad EIT, Universidad de Darmstadt
- **Año de inauguración:** 2012
- **Dimensiones:** 50 m²
- **Tema principal:** Industria 4.0, Internet Industrial de las cosas (IIoT, *Industrial Internet of Things*)

CAPÍTULO 2

Tabla 1. Características de AutFab. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública		
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos	Prototipos	Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real				

En 2009 el profesor Dr. Stephan Simons sugirió la idea de instalar una línea de montaje totalmente automatizada en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Darmstadt. El primer proyecto de un estudiante, realizando una simulación completa en 3D de la línea para la puesta en servicio virtual, empezó ya en 2010. En 2011, los autores estaban convencidos de que las pequeñas y medianas empresas necesitaban ver casos aplicados para ser capaces de reconocer todo el potencial de la Industria 4.0. Los estudiantes trabajaron en las primeras tareas de visualización del laboratorio en 2012 (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

La fábrica de aprendizaje *AutFab* tiene una gran zona de almacenaje, dos estaciones de montaje y dos estaciones de inspección. Las estaciones de trabajo están controladas por controladores lógicos programables. La energía consumida está monitorizada, y se han implementado medidas para la eficiencia energética. Se han creado gemelos digitales para la puesta en servicio virtual, el flujo de material y razones de seguridad. El *AutFab* ha sido conectado a un sistema de manufactura en la red de la Universidad y a una planificación de recursos empresariales en la nube.

Con relación a su funcionamiento, la planta está operada por el profesor Dr. Simons y el profesor Dr. Nesper, como supervisores de los proyectos de los estudiantes y tareas de laboratorio. La visión de desarrollo futuro es una continua evolución del *AutFab*

mediante la implementación de nuevos casos y el empleo de nuevas herramientas y tecnologías (Simons, Abé, & Nesar, 2017).

Los proyectos de semestre se ponen en práctica usando un método de aprendizaje basado en los proyectos. Están basados en las mismas características clave que el aprendizaje basado problemas.

La Figura 9 muestra el proceso del curso, donde al principio del semestre se presentan a los alumnos diferentes tareas del proyecto. Durante el semestre los alumnos trabajan de manera independiente, con reuniones semanales para discutir problemas y preguntar al supervisor por ayuda y guía. El proyecto incluye diferentes subtareas como búsqueda de información, análisis de riesgo, contactar con proveedores, seleccionar componentes o validar soluciones.



Figura 9. Flujo de proceso dentro del semestre. Adaptado de: (Simons, Abé, & Nesar, 2017)

Adicionalmente, los estudiantes presentan los resultados de sus proyectos a los demás grupos y al supervisor con una demostración práctica. Finalmente, los proyectos son calificados por los supervisores. Hasta el momento más de 180 alumnos han llevado a cabo un proyecto en el *AutFab*.

2.6.2. Die Lernfabrik en la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** Lernfabrik
- **Operador:** IWF, Universidad Técnica de Braunschweig
- **Año de inauguración:** 2012
- **Dimensiones:** 450 m²
- **Tema principal:** Producción sostenible, sistemas de producción ciber-físicos, producción urbana

CAPÍTULO 2

Tabla 2. Características de Lernfabrik. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública		
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos	Prototipos	Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real				

Dada la gran importancia que posee el desarrollo de nuevas cuestiones de investigación en los trabajos actuales y la transferencia de conocimiento desde métodos y herramientas hacia la enseñanza y el entrenamiento. En 2012 se decidió establecer *Die Lernfabrik* como plataforma para alcanzar este objetivo. El primer enfoque en la investigación y posterior educación surgió del proyecto de investigación conjunto '*Energía y optimización del material auxiliar de producción*'. El objetivo se expandió posteriormente hasta alcanzar la fábrica de aprendizaje para enseñanza de estudiantes (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

El laboratorio de investigación se centra en la diseminación de los resultados de las búsquedas y la continua derivación de nuevas preguntas de investigación. Con una superficie de más de 400 metros cuadrados, prototipos de innovación y herramientas son usadas con compañeros de la industria en un ambiente de producción real, en una infraestructura cercana a la industria. Esto significa que se pueden llevar a cabo prácticas en máquinas y equipamiento al nivel industrial, teniendo en cuenta todos los servicios técnicos de los edificios.

El laboratorio de experimentación se centra en los métodos de transferencia de investigación y herramientas para la enseñanza a los alumnos de ingeniería y para el entrenamiento de expertos. La fábrica modelo consiste en un sistema modular de producción real, para un proceso en cadena que va desde la fabricación aditiva, al ensamblado y hasta el reciclado de la chatarra.

El laboratorio educativo, como institución central de la Universidad Técnica de Braunschweig, provee entrenamiento técnico y comercial. Los aprendices aprenden las bases de la construcción con metal, eléctrica, neumática e hidráulica (Blume, y otros, 2015).

En relación con el funcionamiento (Figura 10), el objetivo principal de la investigación está representado por asistentes de investigación y candidatos doctorales, en cooperación con colaboradores de proyectos de la industria.

El objetivo principal es fortalecer la educación en ingeniería en naciones emergentes en el desarrollo a través de entrenamiento más orientado a la práctica, haciendo una mayor contribución al desarrollo sostenible.

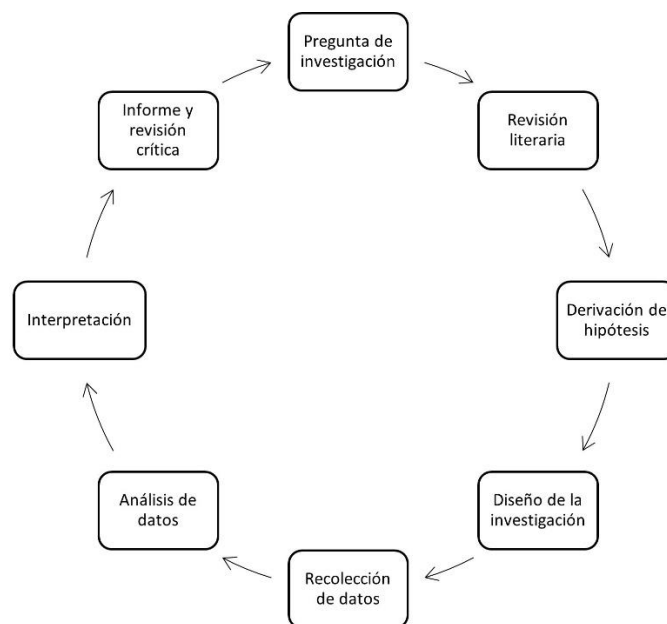


Figura 10. Esquema del funcionamiento de la investigación en Lernfabrik. Adaptado de (Blume, y otros, 2015)

2.6.3. ESB Logistics en la Escuela de Negocio de la Universidad de Reutlingen (Alemania)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** ESB Logistics Learning Factory
- **Operador:** Escuela de Negocios ESB, Universidad de Reutlingen
- **Año de inauguración:** 2014
- **Dimensiones:** 700 m²
- **Tema principal:** Diseño, implementación, optimización y digitalización de sistemas logísticos y de ensamblado automatizado

CAPÍTULO 2

Tabla 3. Características de ESB Logistics. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación						
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up		Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje				Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual		Mantenimiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención					
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real						

Dada la falta de un ambiente industrial apropiado que se adecuara a la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes, las primeras ideas de fábrica de aprendizaje centrada en la producción logística fueron redactadas en 2012. Ya en aquel entonces, se deseaba una fuerte integración de la factoría virtual con la factoría física.

Durante la fase de inicialización, en 2014, un total de tres investigadores y nueve alumnos trabajaron aproximadamente durante cuatro meses para establecer la primera línea de montaje, las zonas de almacenaje o los sistemas eléctricos del sistema. Desde entonces, cientos de estudiantes han participado en fases de entrenamiento albergadas en la fábrica de aprendizaje de *ESB Logistics* (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

La fábrica física comenzó con unas dimensiones de 50 m², pero ha sido ampliada en dos ocasiones entre 2014 y 2018, llegando a los actuales 700 m². La infraestructura actual permite almacenar, ensamblar, empaquetar y enviar los *scooters* en los que se centra la fábrica. Este producto ha sido elegido por su modularidad, su alta variedad y su capacidad de reutilización. La línea de ensamblado de *ESB Logistics* tiene lo último en equipamiento, sistemas de robots ligeros, vehículos de guiado autónomo, sistemas de comunicación y tecnologías de la información.

La fábrica virtual/digital utiliza dos herramientas principales para representar digital y virtualmente el mundo físico. La plataforma permite la ingeniería colaborativa de varios usuarios en el mismo proyecto y al mismo tiempo. La comunicación entre todas las

entidades se basa en un evento lógico (Figura 11), y el análisis de esos eventos permite al estudiante llevar a cabo la gestión de planta digital.

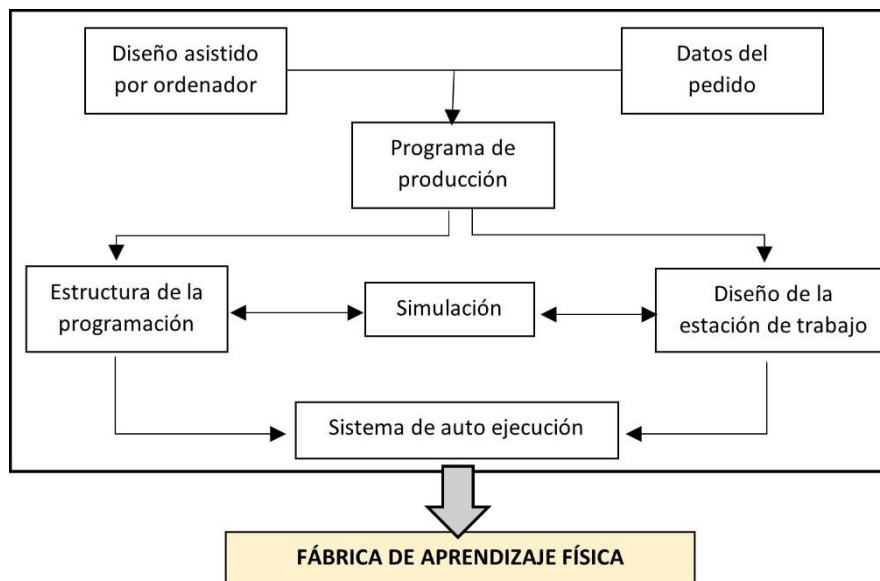


Figura 11. Entorno de planificación digital y fábrica de aprendizaje físico. Adaptado de (Brenner & Hummel, 2016)

La fábrica de aprendizaje sirve como un desarrollo relacionado con la industria y como ambiente de validación para futuros desarrollos de soluciones innovadoras. También tiene lugar un intenso desarrollo del trabajo que integre los gemelos digitales de toda la fábrica en la plataforma de negocio 3D (Brenner & Hummel, 2016).

En cuanto a la investigación, hay varias iniciativas para investigar y desarrollar soluciones orientadas al futuro, al trabajo flexible y a los sistemas logísticos. Otro aspecto que ha sido investigado en la fábrica de aprendizaje de *ESB Logistics* es la colaboración hombre-máquina, con la interacción entre los operarios y los robots articulados ligeros de la línea de ensamblado.

2.6.4. ETA-Factory en la Universidad Técnica de Darmstadt (Alemania)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** ETA-Factory
- **Operador:** Instituto de Gestión de la producción, Tecnología, y Máquinas herramientas (PTW, *Institute for Production Management, Technology and Machine Tools*)
- **Año de inauguración:** 2016
- **Dimensiones:** 810 m²
- **Tema principal:** Eficiencia energética, flexibilidad energética

CAPÍTULO 2

Tabla 4. Características de ETA-Factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública		
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos	Prototipos	Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real				

Una producción sostenible que está económicamente optimizada y es amigable con el medio ambiente, es un factor de éxito para empresas de manufactura en el futuro. En este contexto, el grupo de investigación ‘Producción sostenible’ se fundó en 1996 en el PTW. El punto de comienzo de las actividades de investigación es la pregunta ¿cómo puede reducirse el consumo energético en la producción? y, por lo tanto, mejorar la eficiencia energética de todos los sistemas de producción de la fábrica.

Después de la elaboración de un concepto integral, comenzó la construcción de *ETA-Factory* en el año 2013. Con la colaboración de BMW y la Universidad Técnica de Darmstadt, la inauguración se consiguió únicamente tres años más tarde (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

Además de las excelentes oportunidades que ofrece para la investigación, *ETA-Factory* sirve como ambiente de aprendizaje (Figura 12) en el que, los conocimientos de investigación adquiridos son transferidos a la industria y la educación. En la superficie de la fábrica se encuentran dos cadenas de valor completas: la cadena de procesos ‘*Greenfield*’ y la cadena de procesos ‘*Brownfield*’.

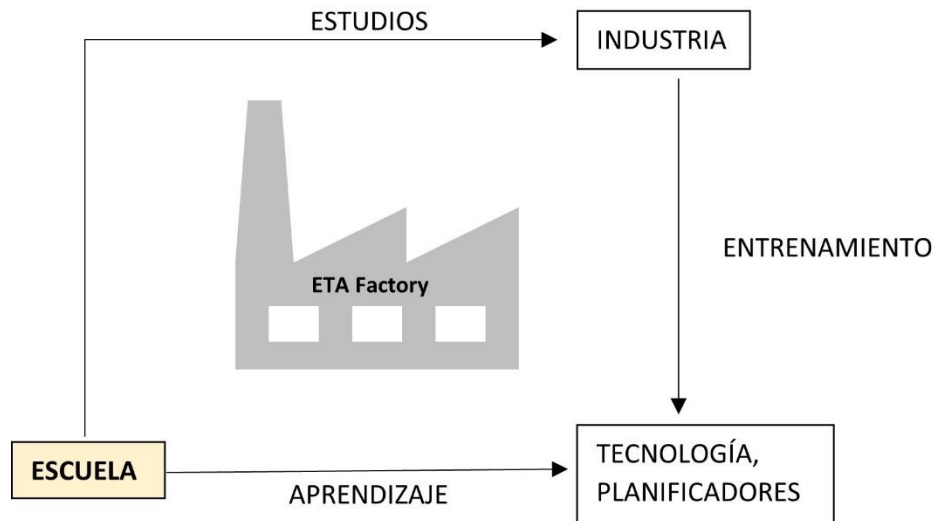


Figura 12. Fábrica de aprendizaje ETA en el contexto del aprendizaje permanente. Adaptado de (Abele, Bauerdick, Strobel, & Panten, 2016)

La primera cadena de valor cuenta con las máquinas de producción integradas en el proceso que cumplen todos los estándares de eficiencia energética. El edificio de investigación contiene más máquinas en la sala de fabricación, un edificio de equipamiento de construcción y varias unidades de almacenaje.

La segunda cadena de valor es parte de la fábrica de aprendizaje para la productividad energética (LEP, *Learning factory for Energy Productivity*). Una característica especial de esta cadena es que puede convertirse de un diseño ineficiente energéticamente, a uno eficiente en unos pocos minutos. Esta conversión demuestra la optimización energética de un sistema ya existente.

En relación con el funcionamiento, las sesiones de entrenamiento de eficiencia energética en *ETA-Factory* se desarrollan como talleres interactivos en los que fundamentos teóricos se relacionan con la implementación práctica (Abele, Bauerdick, Strobel, & Panten, 2016). La oferta de entrenamiento actual consiste en un módulo básico de eficiencia energética en la industria y varios módulos centrados en temas concretos como: calor y frío, bombas, aire comprimido, producción de energía o accionamientos eléctricos.

2.6.5. IFA-Learning Factory en la Universidad de Hannover (Alemania)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** IFA-Learning Factory
- **Operador:** IFA, Universidad de Hannover
- **Año de inauguración:** 2000
- **Dimensiones:** 150 m²
- **Tema principal:** Planificación de la fábrica, producción lean, producción, planificación y control (PPC, *Production, planning and control*)

CAPÍTULO 2

Tabla 5. Características de IFA-Learning factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública		
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos	Prototipos	Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real				

La fábrica de aprendizaje IFA empezó a desarrollarse en el año 2000 con el propósito de crear un modelo de factoría en la que las situaciones y condiciones reales se representaran de manera simplificada.

Los entrenamientos y seminarios hoy en día varían entre diseñar, planificar, controlar y monitorizar sistemas de producción (Figura 13). En *IFA-Learning factory* existen varias estaciones de trabajo que pueden usarse de diferentes formas; por ejemplo, para la provisión de materiales hay varias zonas de almacenaje disponibles.

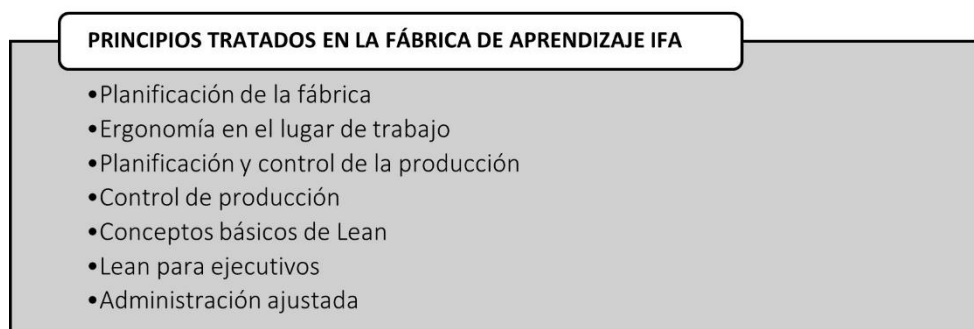


Figura 13. Principios tratados en la fábrica de aprendizaje IFA. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

Los productos manufacturados en esta fábrica son helicópteros formados por trece diferentes componentes de metal y plástico (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

Usando el ensamblado final del helicóptero como ejemplo, se analiza el diseño y evaluación de los procesos de ensamblado, la organización del ensamblado y la disposición del diseño centrándose especialmente en los principios de producción *lean*.

En este contexto, se centra en los efectos de armonizar y equilibrar el contenido de trabajo en los procesos de ensamblado, así como varias opciones de suministro de materiales. Además, en algunas estaciones de trabajo, se puede hacer énfasis en el diseño de la ergonomía del lugar de trabajo o la colaboración humano-robot.

En vista de los retos y el potencial de aumentar la digitalización, *IFA-Learning factory* también sirve como demostración de varias tecnologías de innovación. Por ejemplo, los procesos de pedidos son facilitados por un soporte digital de pedidos y la información dinámica por las etiquetas electrónicas (ESL, *Electronic Shelf Labels*). Esto es posible por la recopilación y evaluación automática de los datos en un sistema programado.

Los procesos operativos como coger materiales o el suministro son asistidos por el uso de las gafas de realidad aumentada. Además, con la ayuda de sistemas de medición biomecánica se puede evaluar y mejorar la ergonomía de varios lugares de trabajo.

2.6.6. Smart Mini Factory en la Universidad Libre de Bozen-Bolzano (Italia)

- **Nombre de la fábrica de aprendizaje:** Smart Mini Factory – Laboratorio para la Industria 4.0
- **Operador:** Ingeniería Industrial y Automática (IEA, *Ind. Eng. And Autom.*) – Universidad Libre de Bozen-Bolzano
- **Año de inauguración:** 2012
- **Dimensiones:** 250 m²
- **Tema principal:** Automatización, sistemas de fabricación inteligentes

El laboratorio de la fábrica de aprendizaje de la Universidad Libre de Bozen-Bolzano se fundó en el año 2012 como una pequeña fábrica (*Mini-Factory*) con fondos del departamento de investigación del área de Ingeniería Industrial y Automatización (IEA, *Industrial Eng. And Automation*). El nombre '*Mini-Factory*' fue elegido nombre para el laboratorio de la fábrica de aprendizaje porque reflejaba los principios de la producción esbelta en una escala pequeña y realista (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019).

CAPÍTULO 2

Tabla 6. Características de Smart Mini-Factory. Adaptado de (Abele, Metternich, & Tisch, Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples, 2019)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación						
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial		Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto		Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Ramp-up		Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje				Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual		Mantenimiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura	RRHH	Desarrollo tecnológico	Obtención					
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real						

En cuanto al funcionamiento, la fábrica de aprendizaje se divide en dos áreas principales. La primera comprende impresoras 3D para la fabricación aditiva y diversas herramientas de control numérico para el taller de trabajo. La segunda consta de un área de ensamblado manual e híbrido con estaciones de montaje Bosch, un sistema de montaje asistido y un robot colaborativo (Matt, Rauch, & Dallasega, 2014). Actualmente se producen dos tipos de productos en sus líneas de montaje. Por una parte, un cilindro neumático, y por otra, una llave de impacto neumática.

El uso del laboratorio de la fábrica de aprendizaje se divide en tres partes. Por una parte, se utiliza para la investigación aplicada y así sirve para la construcción individual de configuraciones de prueba.

En segundo lugar, se usa como parte del programa de grado y máster de las ingenierías industrial y mecánica. Por último, se ofrecen seminarios de todos los aspectos de la Industria 4.0 para empresas industriales. Los ejercicios y seminarios se diseñan y llevan a cabo por investigadores y postdoctorados. Estos seminarios permiten un contacto más cercano con la industria local para así facilitar la transferencia de conocimiento de investigadores a la industria.

En la práctica, *Mini Factory* se utiliza en la simulación de juegos de negocio durante la planificación, diseño, implementación, expansión gradual y optimización de sistemas de ensamblaje flexible. Al final del juego empresarial, los resultados se comparan y discuten dentro de los grupos.

En la primera tarea de montaje (sistema de montaje manual intercambiable y flexible), los estudiantes comienzan con un plan teórico de las tareas. Después de esta planificación, se implementa en el laboratorio de la fábrica. Aquí se comprueba el efecto del incremento de la frecuencia de repetición de tareas de ensamblado en la curva de aprendizaje.

En la segunda tarea de ensamblado (sistema de ensamblado semi automatizado intercambiable y flexible), los grupos deciden entre dos robots industriales para que lleven a cabo el proceso automatizado. Finalmente, deben determinar si la integración de la estación del robot resulta en una reducción significativa de los tiempos de montaje y ciclo.

Al final de la simulación, cada estudiante debe documentar y comentar el proceso de experimentación que han llevado a cabo, y los resultados obtenidos.

2.6.7. Resumen de las fábricas de aprendizaje analizadas

Tras analizar algunos de los ejemplos prácticos de fábricas de aprendizaje más importantes que existen en universidades y centros de investigación, se pueden extraer una serie de conclusiones en cuanto a las características que tienen en común todas ellas.

Para empezar, todas ellas tienen un objetivo principal común, en el que se centran en la formación, la investigación y la educación. Donde se diferencian es en alguno de sus objetivos secundarios. Todas tienen en común como objetivo secundario el crear un entorno de prueba, pero se diferencian en que unas se enfocan en la transferencia de innovación y otras lo hacen en la imagen pública.

En cuanto al entorno hay un elemento común, el ambiente de aprendizaje de todas es físico compatible con la fábrica digital. La escala ambiental de cada una varía entre el tamaño reducido y el tamaño real de la fábrica, dependiendo del espacio disponible donde se han creado.

Sobre el proceso, casi todas tienen unos ciclos de vida de producto, fábrica, tecnología y del pedido centrados en los procesos de fabricación, montaje y logística. Destaca en el proceso de ciclo de vida del pedido que todas incluyen en sus operaciones el *picking* y embalaje. En los procesos de ciclo de vida del producto hay mucha diferencia, unas se centran más en el desarrollo de productos y prototipos, y otras no dan tanta importancia a este ciclo de vida. Por último, en el ciclo de vida de la tecnología, prácticamente todas dan gran importancia a la modernización y las pruebas virtuales.

Analizando las características de las principales fábricas de aprendizaje que se han elegido, se pueden sacar las similitudes más importantes que tienen entre sí y que sirvan para un futuro estudio de implantación de una fábrica de aprendizaje en la Universidad de Valladolid.

CAPÍTULO 2

2.7. Fábricas de aprendizaje digitales

2.7.1. Realidad virtual y realidad aumentada

La realidad virtual hace referencia a un entorno computarizado y simulado 3D donde las personas pueden tener experiencias realistas a través de sus capacidades sensoriales, mientras que la realidad aumentada crea una extensión tridimensional del medio a través de objetos virtuales. Debido a la posibilidad de visualizar los procesos, presentando una visión general de los sistemas de producción y a través de ser capaz de proveer gran cantidad de datos y análisis en un periodo corto de tiempo, los ambientes virtuales se consideran útiles para el propósito de las fábricas de aprendizaje.

El desarrollo virtual comenzó en la década de 1970 con el software de diseño asistido por ordenador en el campo del diseño. A comienzo de la década de 1990 comenzaron a verse las primeras demostraciones públicas de la realidad virtual donde algunos observadores de la industria comenzaron a hacer sus propios experimentos.

El coste de adoptar la tecnología de realidad virtual es un factor importante que tomar en consideración (Liagkou, Salmas, & Stylios, 2019). Hay muchas tecnologías para acceder al mundo virtual (*Oculus Rift, HTC Vive...*), cada una con sus diferentes usos e inmersiones; cuanto mayor inmersión, más costoso y complejo será. Integrar la tecnología de realidad virtual a la Industria 4.0 supone evaluar el factor coste y los beneficios específicos de estas tecnologías.

Se debe asegurar que los modelos de realidad virtual sean capaces de producir resultados en tiempo real; los modos de realidad virtual deben hacer frente a complejos eventos en tiempo real y reproducir la realidad basándose, la mayoría de las veces, en la simulación de la retroalimentación.

La naturaleza e implementación de la realidad virtual en el ambiente industrial es esencial. La realidad virtual se emplea para la visualización en tiempo real de modelos virtuales específicos y para la simulación de situaciones. Debido a los constantes cambios en las tecnologías de simulación, se requiere una constante actualización.

La realidad virtual y la realidad aumentada son muy importantes en la Industria 4.0. Su combinación puede mejorar los métodos y la eficiencia de las empresas en el campo de la fabricación. La aplicación de la realidad virtual en la Industria 4.0 permite a las compañías reducir los costes de diseño y producción, mantener la calidad de los productos y reducir el tiempo necesario para llegar del prototipo al modelo de producción. La Industria 4.0 trae nuevos retos tecnológicos en el proceso que ha aumentado gradualmente el nivel de digitalización (Firu, Tapîrdea, Feier, & Draghici, 2021).

En conclusión, la Industria 4.0 puede beneficiarse del uso de la realidad virtual para mostrar grandes y complejos procesos y productos referidos al entrenamiento, simulación, mantenimiento y todos los aspectos de la línea de producción o actividades de dirección.

En el campo de la producción y de la ingeniería de materiales, las tecnologías de realidad aumentada han permitido el desarrollo de lugares de trabajo virtuales donde diferentes sistemas de producción, procesos de fabricación, maquinaria y prototipos pueden ser modelados, simulados, verificados y visualizados. Este proceso dirige hacia una evaluación de la fabricabilidad del producto temprana y a la mejora de los procesos de producción y diseño antes de que sean implementados en la realidad.

2.7.2. Fábricas de aprendizaje virtuales

Las fábricas de aprendizaje virtuales son sistemas de enseñanza y aprendizaje basados en la computación. Aunque hay varias definiciones, se pueden definir como un modelo de simulación integrado de los principales subsistemas que consideran a la fábrica como un todo y proporciona una avanzada capacidad de apoyo en la toma de decisiones, buscando ir más allá del modelo típico de subsistema, como el de fabricación, el de negocio o el de comunicación desarrollados de forma individual y aislada (Jain, Choong, Aye, & Luo, 2001). Son herramientas muy útiles para el propósito de enseñanza/aprendizaje especialmente cuando se basan en procesos que no serían posibles en la vida real. El empleo de entornos digitales puede variar en función de las limitaciones existentes de cada fábrica de aprendizaje.

Previo a cualquier proceso de aprendizaje, se requiere una inversión para adquirir el ambiente educativo y las herramientas. Principalmente, se requiere invertir en infraestructuras de tecnologías de la información, en la red de trabajo, softwares y personal; y otra parte importante para los aspectos físicos. Por otro lado, una fábrica de aprendizaje física necesita de una inversión en la planta de producción, maquinaria, técnicos y sus costes relativos.

La consideración de las fábricas virtuales como entornos para controlar procesos de manera colaborativa e integrar a empresas de fabricación para conseguir algunas oportunidades de negocio, comenzó con Shamsuzzoha (Shamsuzzoha, Ferreira, Azevedo, & Helo, 2017).

2.8. Sistemas de fabricación inteligentes

Un sistema de fabricación inteligente (*SMS – Smart Manufacturing System*) es un sistema físico multicampo con complejos acoplamientos entre varios componentes (Leng, y otros, 2021). Normalmente, los diseñadores en varios campos solo pueden diseñar subsistemas de un sistema de fabricación inteligente. Como tecnología emergente, los gemelos digitales (*digital twins*) pueden alcanzar simulaciones semi físicas para reducir el enorme tiempo y coste de la reconfiguración física con una detección temprana de errores de diseño.

CAPÍTULO 2

En la Industria 1.0 y 2.0, los métodos de diseño de sistemas de manufactura convencionales requerían prototipos físicos para comprobar y verificar si el modelo virtual está correctamente emparejado, incluyendo estructura, ergonomía y rendimiento. Sin embargo, usar prototipos físicos para verificar el diseño es muy costoso. Para evitar riesgos innecesarios en prototipos físicos, las simulaciones del rendimiento y fabricabilidad de un modelo en el espacio virtual son críticos.

En la Industria 3.0, muchos proveedores de diseño asistido por ordenador propusieron el concepto de prototipo virtual, prototipo digital, prototipo activo, ... Entre la variedad de conceptos de prototipo digital, la maqueta digital (*Digital Mock-Up*) está ampliamente utilizada, la cual enfatiza las relaciones entre simulaciones de modelo 3D. La existencia de prototipos digitales reduce enormemente el fallo de los prototipos físicos. Utilizar la realidad virtual puede mejorar la eficiencia del diseño del sistema de fabricación inteligente. Debido a la consistencia de la transmisión de información en los prototipos digitales, la dificultad del diseño de los sistemas de fabricación está extremadamente reducida.

En la Industria 4.0, la fabricación inteligente ha llegado a la dirección del desarrollo de la industria de fabricación mundial. Las nuevas estrategias de fabricación avanzada alrededor del mundo resultan en un incremento de la necesidad de diseñar nuevos sistemas de fabricación inteligentes.

La tecnología de gemelos digitales es una posible solución. Hoy en día, la tendencia de los gemelos digitales está ganando impulso por la rápida evolución de la simulación y capacidades de modelización, mejor operabilidad y sensores del internet de las cosas, así como muchas herramientas e infraestructuras de computación.

Un gemelo digital puede realizar una realimentación del espacio del modelo digital hacia el sistema real físico; de esta forma, es posible asegurar la coordinación del espacio digital y físico dentro del alcance del ciclo de vida completo.

2.8.1. Gemelos digitales

La verificación de un sistema de fabricación inteligente se llevaba a cabo, normalmente, durante el proceso de diseño y despliegue. El coste de una verificación física es muy alto debido al alto coste de transporte y ensamblaje del equipo y al incremento de tiempo de diseño. Confiar en una plataforma de simulación *offline* está limitado por la eficiencia de cálculo y expresión. Es necesario combinar el modelizado y los datos a tiempo real para construir un sistema de gemelos digitales que verifique y mejore el rendimiento de la salida del sistema (Chen, y otros, 2021).

El concepto de gemelos digitales o *Digital Twin* es un desarrollo de la tecnología de modelización y simulación. Los métodos de simulación tradicionales tienen capacidades limitadas a la hora de evaluar el rendimiento de los sistemas (Figura 14). Esta tecnología representa el descubrimiento de las limitaciones en el modelizado y las capacidades de análisis ingenieril de la simulación por integrar la tecnología del internet de las cosas.

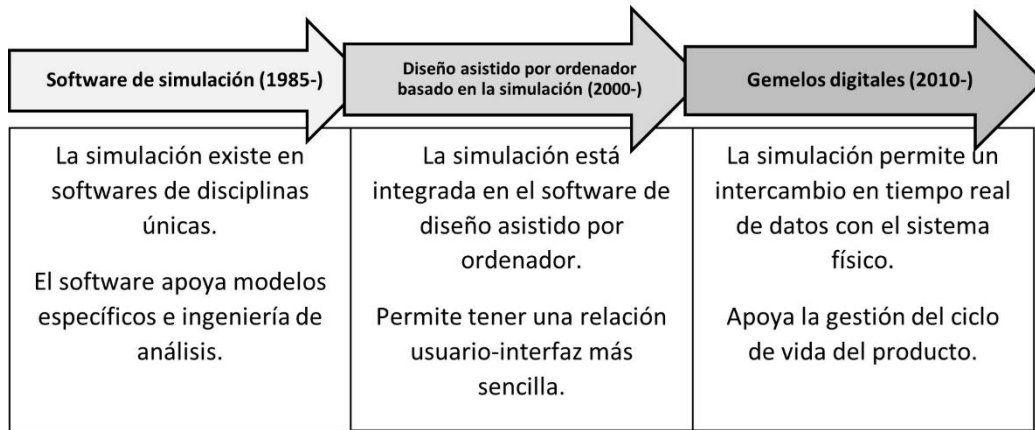


Figura 14. Evolución de la tecnología de simulación desde el punto de vista del diseño. Fuente: elaboración propia

Los modelos digitales pueden categorizarse como ‘replica digital’, ‘sombra digital’ y ‘gemelo digital’. Una réplica digital enfatiza la proyección automática de los sistemas de construcción. La sombra digital enfatiza el modelizado matemático para describir los atributos fisicoquímicos de un sistema. Un gemelo digital es una simulación multifísica y a multiescala de un producto o sistema que puede modelizar las propiedades mecánicas, eléctricas, de software y otras disciplinas a través de su ciclo de vida.

2.8.2. Etapas del diseño de los gemelos digitales

La fase de diseño de los gemelos digitales se puede dividir en tres etapas, como muestra la Figura 15. La primera etapa es la conceptualización de los gemelos digitales (diseño del modelo funcional y del modelo estructural). Usando simulaciones multidisciplinares para verificar rápidamente el esquema conceptual. El objetivo en esta etapa no es perseguir una simulación precisa sino una simulación rápida (Leng, y otros, 2021).

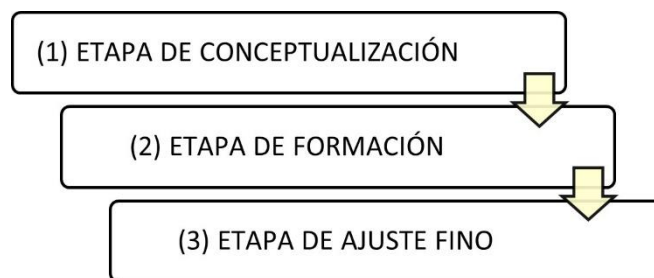


Figura 15. Etapas del diseño de los gemelos digitales. Fuente: elaboración propia

La segunda etapa es la de formación de los gemelos digitales (diseño del modelo de comportamiento y del modelo de control). Aunque el propósito de los gemelos digitales es reemplazar la puesta en servicio, es necesario mantener sistemas ciber físicos, especialmente requeridos por algunas especificaciones de la industria.

CAPÍTULO 2

Por último, la tercera etapa es la de ajuste fino de los gemelos digitales (diseño del modelo de inteligencia y modelo de prestaciones). Los gemelos digitales se utilizan para ayudar a crear prototipos de sistema de fabricación inteligente y planear el esquema de prueba. Los gemelos digitales reducen ensayos y errores localizando precisamente los puntos que necesitan ser inteligentes. Las prestaciones óptimas pueden obtenerse de manera esbelta. En otras palabras, el acercamiento a los gemelos digitales puede conseguir el propósito de validación de los sistemas de fabricación inteligentes con un menor número de pruebas y mejorar la eficiencia del diseño.

El valor más directo que tiene su implementación es el de reemplazar el costoso y puramente físico proceso de puesta en servicio y los ensayos. Sin embargo, el objetivo final no es simplemente la validación sino la innovación del diseño.

2.8.3. Estructura funcional de los gemelos digitales

Los sistemas de fabricación inteligentes son considerados como la integración de modelos funcionales complejos e interconectados, como se muestra en la Figura 16. La esencia de estos sistemas es conseguir que las entidades que satisfacen las demandas individuales usen equipamiento integrado y eficiencia en fabricación (Leng, y otros, 2021).

- *Modelo funcional*: es una descripción estructurada de las actividades para la fabricación del producto y sus relaciones entre las actividades. Este modelo destaca la influencia de la demanda del fabricante en el diseño conceptual de la fabricabilidad del producto, ensamblado, mantenimiento y seguridad. Este modelo normalmente incluye la planificación de procesos, selección de equipamiento y diseño mecánico.
- *Modelo estructural*: se trata de una descripción estructurada de la fusión, conexión y unión de las relaciones entre las estructuras mecánicas que tratan las funciones de fabricación, principios y comportamientos. La interrelación de la estructura mecánica es la base de la transferencia y transformación del material, energía, información y comportamiento de movimiento del sistema de fabricación.
- *Modelo de comportamiento*: este es una descripción estructurada del comportamiento de movimiento mecánico, la transformación de forma y sus relaciones mutuas. El material, energía y conexión de información que existe entre el sistema de fabricación inteligente está reflejado principalmente en la relación de transferencia del comportamiento de movimiento mecánico.
- *Modelo de control*: este modelo está construido para hacer frente a la estructura, operación o cálculos de un proceso a través de métodos estáticos o de ingeniería para controlarla salida del proceso.
- *Modelo de inteligencia*: este es supuestamente capaz de describir, desarrollar y validar la habilidad de aprendizaje, la habilidad de optimización y la habilidad de automatización de un sistema de fabricación inteligente desde el control de la perspectiva del diseño.

- *Modelo de rendimiento*: las diferencias en decisiones de diseño resultan en una fluctuación de la eficiencia de ejecución de fabricación. Este modelo incluye la evaluación y optimización del rendimiento del sistema como la eficiencia, flexibilidad, configurabilidad, robustez, adaptabilidad y resiliencia.

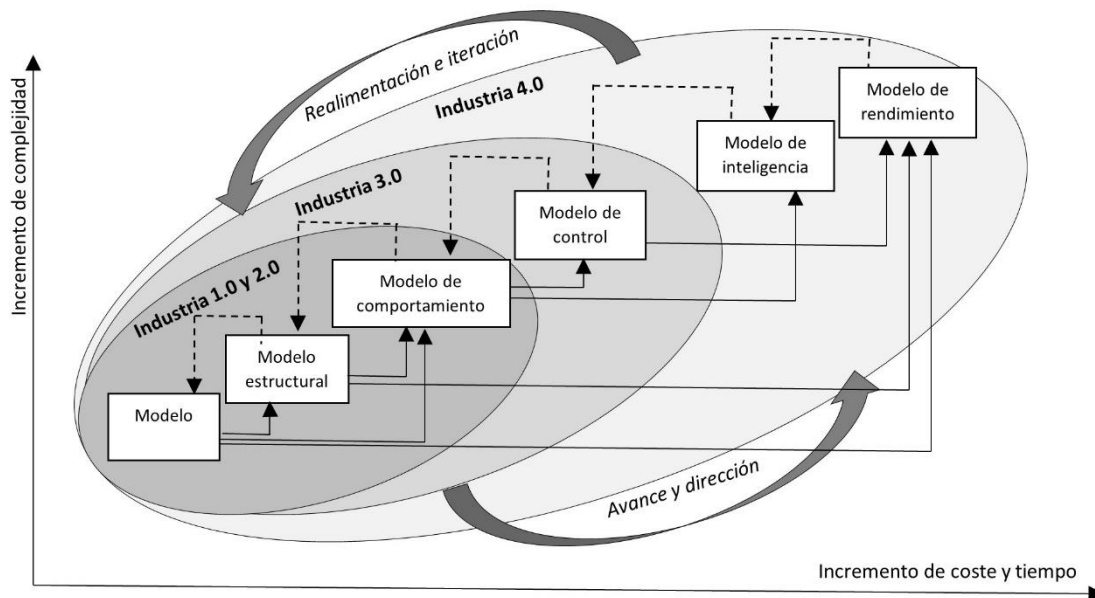


Figura 16. Marco de referencia para sistemas de fabricación inteligentes. Adaptado de (Leng, y otros, 2021)

2.8.4. Plataforma de internet industrial

Recientemente, con el desarrollo de las tecnologías de información y necesidades personalizadas, la plataforma de Internet industrial basada en la colaboración de servicios de fabricación se ha convertido en el principal método de fabricación colaborativa donde múltiples interesados independientes se involucran.

Con el desarrollo de la economía global y la diversidad de demandas de fabricación, es complicado que una única empresa haga frente a las tareas y customización a gran escala. La colaboración de distintas empresas de una manera efectiva puede resolver los problemas. Mientras tanto, el espacio de trabajo virtual está bien utilizado para conducir colaboraciones eficientes y efectivas en ambientes de fabricación distribuidos.

Como una típica plataforma de intercambio, la plataforma de Internet industrial ha recibido una especial atención por parte de la academia y la industria. Esta plataforma, también conocida como el Internet Industrial de las cosas (*IIoT – Industrial Internet of Things*) y la plataforma de la nube en Internet industrial, facilita la mejora inteligente a través del flujo de datos y su análisis, formando nuevos modelos y formatos sobre la base de la interconexión entre componentes físicos y digitales (Tao, y otros, 2020). Las principales plataformas se detallan en la Tabla 7.

CAPÍTULO 2

Tabla 7. Plataformas de Internet industrial más comunes según (Tao, y otros, 2020)

Empresa	Plataforma	Escala	Función	Aplicación
General Electric	Predix	1 millón de gemelos digitales y cientos de apps industriales	Gestión y análisis de datos industriales, nube y movilidad	Aviación, energía, transporte, finanzas...
Siemens	MindSphere	Interconexión de más de 1 millón de dispositivos y sistemas	Mantenimiento predictivo, control de datos energéticos...	Industria, fabricación...
PTC	ThingWorx	21 aplicaciones industriales, 77 productos certificados	Modernizar herramientas de desarrollo de aplicaciones	Fabricación
ABB	Ability	Más de 70 millones de dispositivos conectados y 70.000 sistemas	Servicios de control remoto para robots, motores y maquinaria	Centros de datos de transporte, edificios inteligentes, industria petroquímica...
Schneider	EcoStruxure	Más de 45.000 sistemas con 9.000 integradores	Interconexión de sistemas de energía, optimización de rendimiento industrial	Construcción, tecnología de la información, fábricas, red eléctrica...
Phoenix Contact	ProfiCloud	-	Acceso a dispositivos e interconexión	Energía eólica, fotovoltaica, petróleo y gas, conservación de agua
Emerson	PlantWeb	-	Equipamiento y análisis energético, servicios de soporte remoto	Procesos industriales

Las plataformas existentes están predominantemente desarrolladas en áreas donde tienen una riqueza de conocimiento industrial, lo que les permite proveer servicio de valor añadido y transformarse al modelo de negocio de la plataforma fácilmente. Actualmente, las plataformas más convencionales se concentran en la conectividad de datos y la computación de borde, análisis de datos industriales, gestión de procesos de producción y aplicaciones de servicio.

El objetivo común es colaborar en servicios de manufactura y conocer las necesidades de diferentes campos a través de la integración efectiva de elementos físicos y digitales. Con el avance de la tecnología y la conciencia sobre la colaboración, la escala de datos de equipamiento, recursos y empresas ha aumentado rápidamente.

3. FÁBRICA DE FORMACIÓN INDUSTRIAL 4.0 EN LA UVa-FISCHERTECHNIK

3.1. Descripción de la fábrica

La reciente adquisición del entorno de aprendizaje creado por Fischertechnik por parte del departamento de Organización de Empresas de la UVa, permite la creación de un lugar donde los alumnos pueden experimentar con un modelo de simulación físico aplicando los conocimientos adquiridos con anterioridad. Toda la información del modelo que se va a tratar en este apartado está extraída de (Weininger, 2019).

Aunque sea a pequeña escala, la fábrica de aprendizaje cumple con los principios de la Industria 4.0 como pueden ser: la modularidad, la flexibilidad, la interoperabilidad o la utilización de productos y servicios inteligentes.

La fábrica de aprendizaje (Figura 17) dispone de diversos módulos: una estación de almacenamiento con entrada y salida, un manipulador de aspiración al vacío, un almacén de techo alto, una estación de multiprocesado, una cinta de transporte clasificadora por reconocimiento de colores, un sensor ambiental y una cámara giratoria.

A su vez, los productos que pasan a través del flujo de la fábrica son unas pequeñas piezas de colores que disponen de un sistema de rastreo (NFC, *Near Field Communication*) para conseguir su seguimiento e identificación en cualquier punto del proceso.

Para poder controlar la fábrica, se han empleado seis controladores TXT alimentados por fuentes de 9V e interconectadas para lograr la comunicación entre ellos; todo esto mediante un protocolo de mensajes entre dispositivos (MQTT, *Message Queuing Telemetry Transport*).

El funcionamiento de la fábrica es sencillo. Primero, el manipulador de aspiración por vacío equipa el transelevador con piezas de trabajo. Este las almacena en la estantería ordenándolas por colores. Posteriormente, las piezas se transportan hacia la estación de multiprocesamiento y allí se procesan. A continuación, las piezas que se han procesado se ordenan por colores en la cinta de clasificación y se transportan al lugar de almacenamiento. Desde allí, se vuelven a transportar de nuevo las piezas de trabajo mediante el manipulador de aspiración por vacío hacia la estantería elevada. Este trabajo se puede repetir cíclicamente para clasificar las distintas piezas si así lo demanda el cliente.

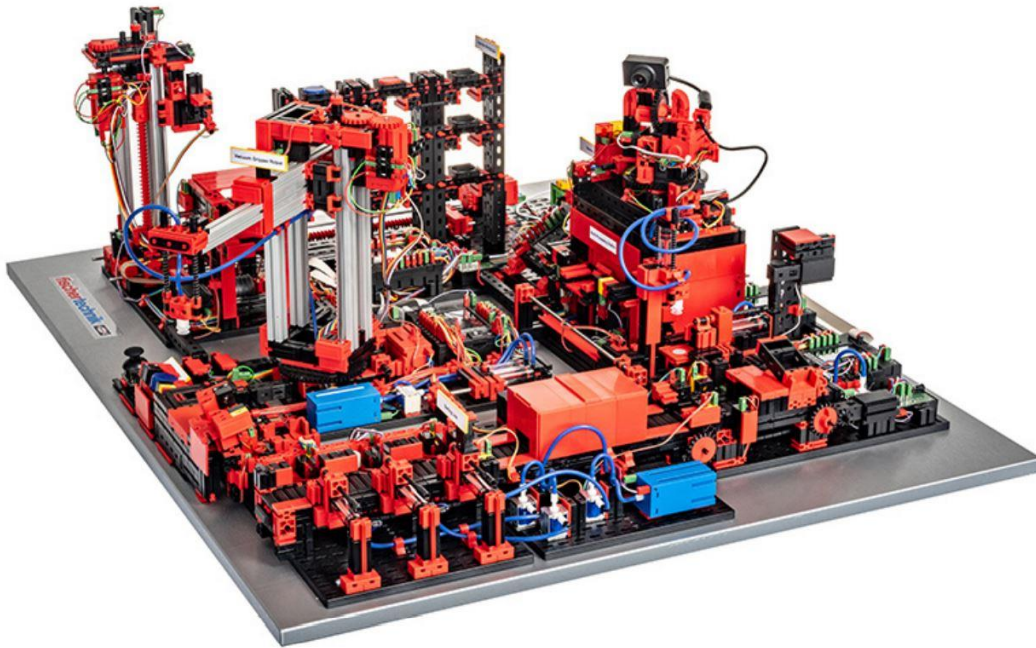


Figura 17. Ilustración de la célula de trabajo Fischertechnik completa. Extraído de (Weininger, 2019)

3.2. Componentes de la fábrica

Manipulador de aspiración por vacío. Este robot de tres ejes (Figura 18) coloca las piezas de forma precisa y con rapidez en los puntos que se seleccionen. Se puede emplear en funciones de manipulación con ayuda de la ventosa y el sistema de vacío para desplazar las piezas a la siguiente estación. El transporte de las piezas se puede definir de manera discontinua o como movimiento punto a punto.

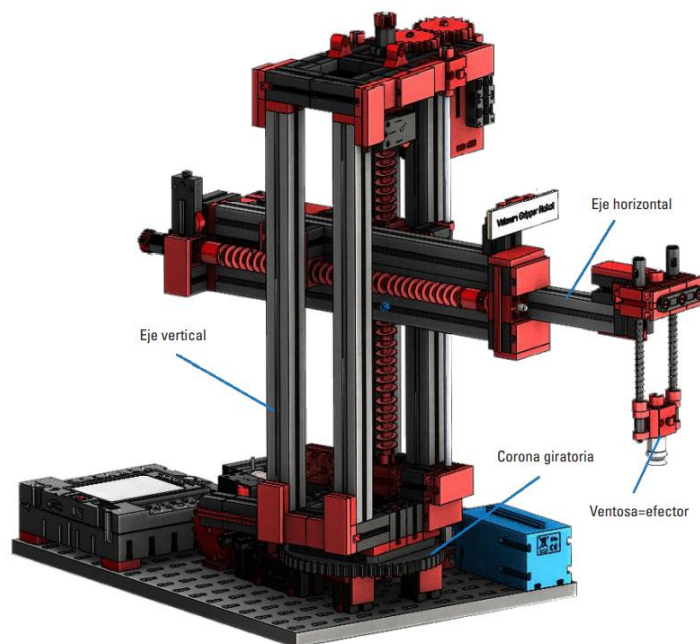


Figura 18. Ilustración del manipulador de aspiración por vacío. Extraído de (Weininger, 2019)

Almacén automatizado con techo alto (Figura 19). Los almacenes con techo alto ahorran superficie para el almacenamiento de mercancía, permitiendo un mejor aprovechamiento del espacio, aunque precisan de una alta inversión. En la *factory*, la retirada de la mercancía se produce mediante un elevador automatizado que localiza la posición en la que se encuentra y la lleva al punto de retirada.

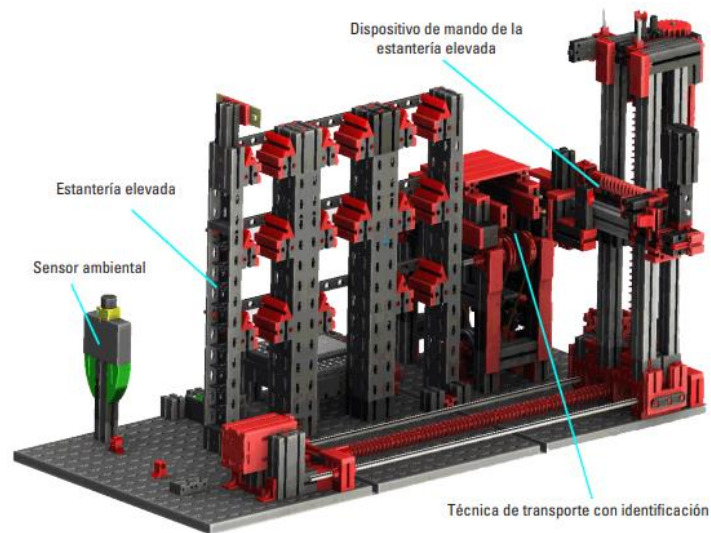


Figura 19. Ilustración del almacén automatizado con techo alto. Extraído de (Weininger, 2019)

Estación de multiprocesamiento con horno. En esta estación (Figura 20) la pieza pasa por varias subestaciones de manera automatizada donde se simulan diferentes procesos. Es por eso por lo que se utilizan varios métodos de transporte como cintas transportadoras, mesas giratorias o manipuladores de aspiración. El proceso empieza en el horno, donde se introduce la pieza. Posteriormente, el transporte por succión la lleva hacia la mesa giratoria, que sitúa la pieza bajo la fresadora. Tras esto, se desplaza la pieza al sistema de clasificación.

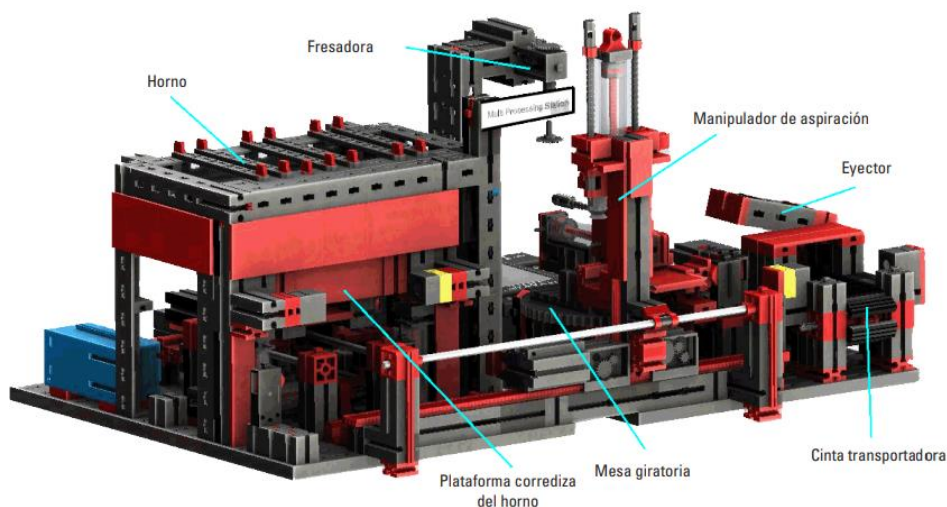


Figura 20. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con horno. Extraído de (Weininger, 2019)

CAPÍTULO 3

Cinta de clasificación con reconocimiento de color. La función de esta estación es la separación automatizada de piezas de trabajo según su color (Figura 21). Las piezas, iguales geoméricamente, pero de diferentes colores, se conducen por una cinta hacia un sensor de color y luego se clasifican en función de cuál sea este. La pieza es expulsada por un cilindro neumático y el reconocimiento por un sensor óptico, que debe estar protegido de la luz para poder reflejar sobre la superficie de la pieza.

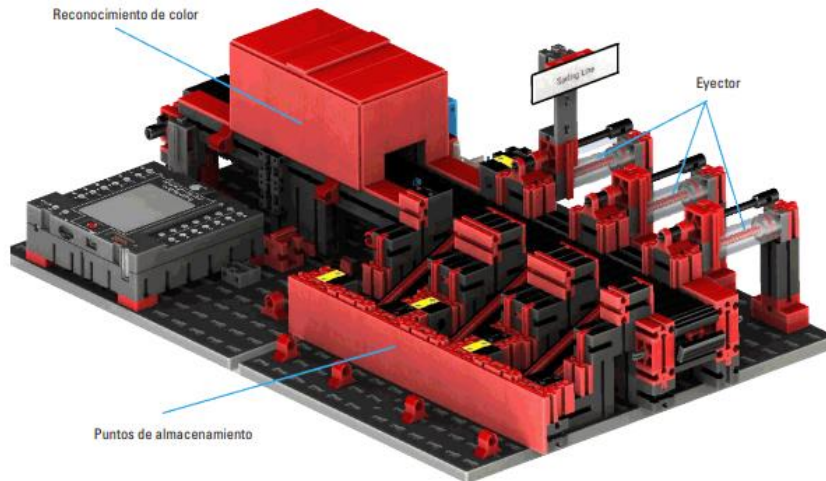


Figura 21. Ilustración de la cinta de clasificación con reconocimiento de color. Extraído de (Weininger, 2019)

Estación ambiental con cámara de control. Esta estación se utiliza para registrar valores de medición dentro de la zona de fabricación. La estación con cámara (Figura 22) se monta en la estación de multiprocesamiento y controla las condiciones de toda la instalación. El sensor ambiental es capaz de medir la temperatura, la humedad, la presión y la calidad del aire.

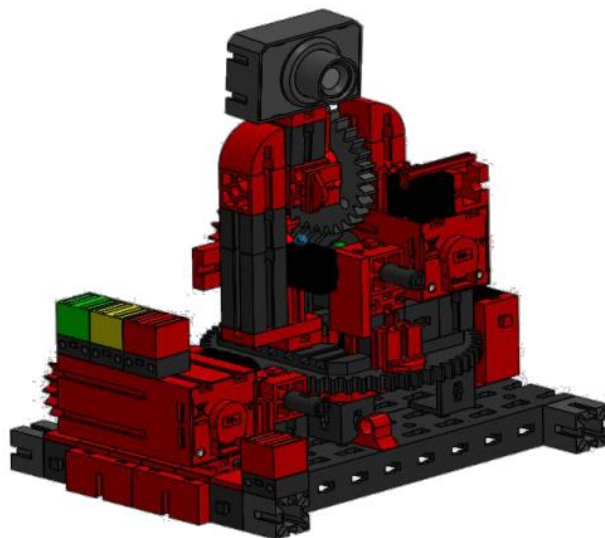


Figura 22. Ilustración de la estación ambiental con cámara de control. Extraído de (Weininger, 2019)

La unión de la estación de multiprocesamiento y la estación ambiental con cámara de control da lugar a la *estación de multiprocesamiento con cámara de control* (Figura 23). La cámara de control se coloca en la parte superior de la estación, permitiendo controlar toda la instalación. La cámara tiene un indicador con una luz roja que indica cuándo se están registrando imágenes.

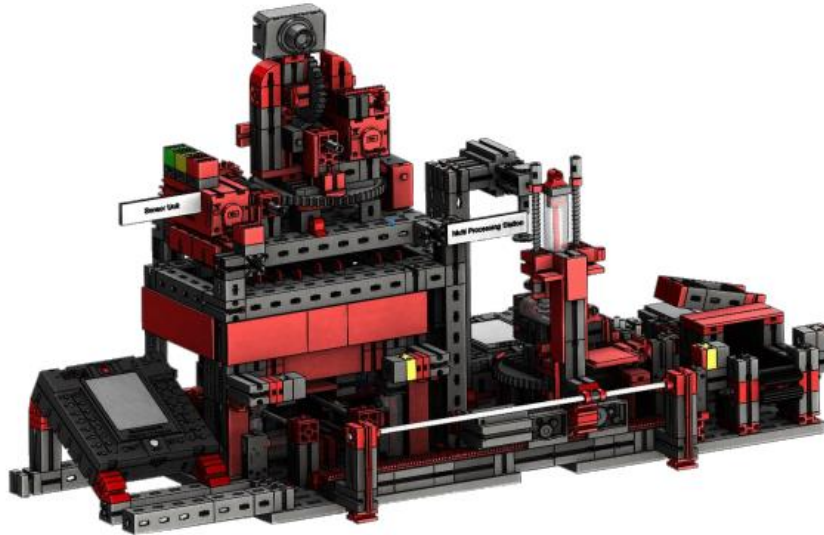


Figura 23. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con cámara de control. Extraído de (Weininger, 2019)

Estación de ingreso/salida con reconocimiento de color y lector NFC. Esta estación (Figura 24) se compone de cuatro áreas de trabajo, unidad de ingreso y salida, reconocimiento de color, lector NFC y estación de calibración. Con la barrera fotoeléctrica se reconoce si hay una pieza para el almacenamiento. Antes de continuar procesando la pieza, se determina el color, luego se le asignan diferentes datos a cada pieza. Con estos datos, el manipulador de aspiración al vacío deposita la pieza en el lector NFC y elimina todos los datos de la memoria para marcarla como materia prima.

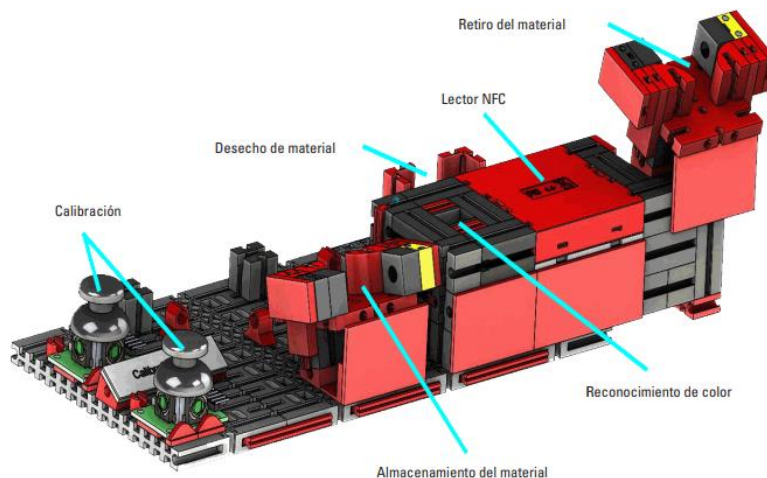


Figura 24. Ilustración de la estación de Ingreso/salida con lector NFC. Extraído de (Weininger, 2019)

CAPÍTULO 3

3.3. Paneles de control

3.3.1. Panel de control de la fábrica

El panel de control de la fábrica se puede accionar y manipular desde dispositivos móviles como teléfonos o tabletas. Este panel permite representar el escenario desde tres perspectivas: la vista del cliente, la vista del fabricante y la vista de producción.

Para poder utilizar el panel de control, es necesario registrarse previamente en la web de la marca y conectar un controlador TXT a la nube. La pantalla del panel de control (Figura 25), está dividida en varias secciones que permiten ver los pedidos y existencias, encargar materia prima, y controlar el estado de la fábrica y de producción.

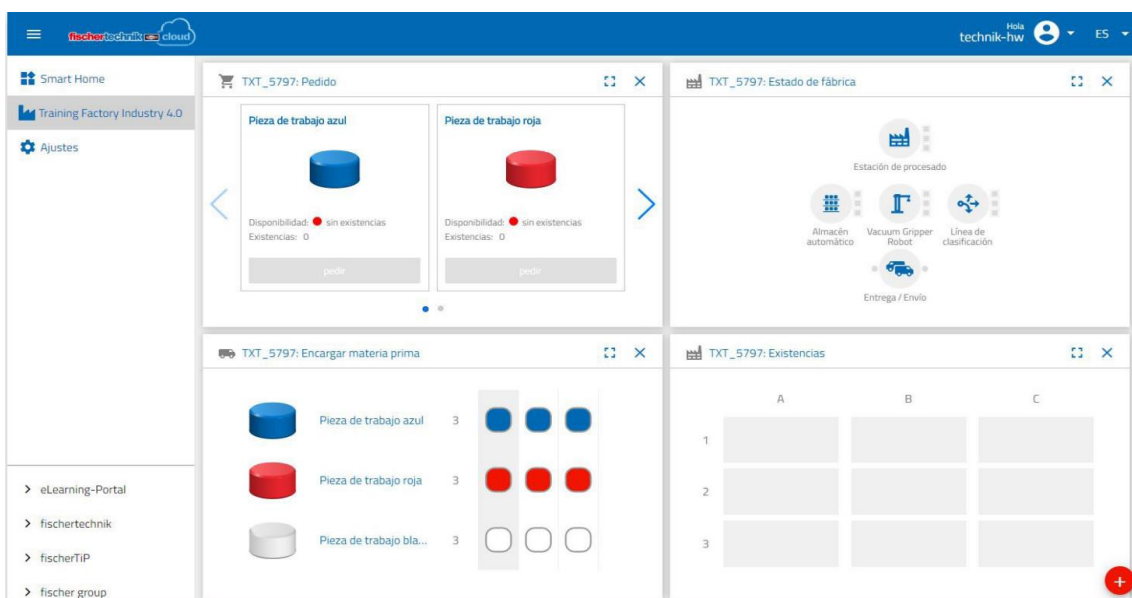


Figura 25. Ilustración del panel de control de la fábrica. Extraído de (Weininger, 2019)

Solicitud de materia prima. Muestra la materia prima que falta y que debe ser encargada.

Inventario. Muestra en tiempo real la cantidad de materia prima almacenada en la estantería elevada.

Pedidos. Muestra por colores la materia prima disponible en el almacenamiento. Si llegan piezas a la estantería, se modifica el valor de inventario por colores.

Estado de la fábrica. Esta ventana muestra el estado actual de toda la fábrica. Cuando una estación de trabajo está en funcionamiento, se iluminará su indicador en la pantalla.

Estado de producción. En esta ventana se puede comprobar el proceso de producción cuando se ha solicitado una pieza de trabajo mediante el seguimiento en tiempo real.

Lector NFC. Esta ventana representa el estado actual del lector.

3.3.2. Panel de control de la cámara

En el panel de control de la cámara se puede manejar la cámara de grabación en tiempo real. Permite hacer grabaciones en tiempo real de la fábrica y recibir una vista general sobre toda la instalación.

Para controlar la cámara (Figura 26), se utiliza un mando virtual que permite girar la cámara y centrar o detener la grabación. Además de grabar, la cámara permite tomar capturas para obtener imágenes y poder guardarlas.



Figura 26. Ilustración del panel de control de la cámara. Extraído de (Weininger, 2019)

En la ventana de galería se guardan todas las imágenes y grabaciones que se hayan capturado con la cámara. Desde esta ventana nos permite descargar el contenido o eliminar lo que ya no sea útil.

Además de controlar las funciones de la cámara, en este panel se puede ver la información que procesa el sensor ambiental. En concreto, permite visualizar:

- *Calidad actual del aire.* Muestra el valor de la calidad del aire representado en tres indicadores (verde, amarillo y rojo) que se iluminarán en función de si la calidad es muy buena (verde), buena (verde y amarillo), satisfactoria (amarillo), suficiente (amarillo y rojo) o mala (rojo). Los datos registrados se almacenan y se pueden consultar mediante una serie de gráficos de medición.
- *Claridad actual.* Muestra el valor de la claridad en % y la hora a la que se ha medido el valor.
- *Presión actual del aire.* Muestra la presión ambiental actual en hPa (hectopascales), así como la hora a la que se realizó la medición.
- *Humedad actual del aire.* Muestra la humedad relativa en el ambiente en %.
- *Temperatura actual.* Muestra la temperatura ambiental en el sensor en °C.

CAPÍTULO 3

La descripción de los paneles de control y las distintas estaciones que componen la fábrica, sirve para dar una primera idea de las características y elementos de los que se dispone. Pero su funcionamiento es más complejo, y para explicarlo en profundidad, se detalla en el siguiente capítulo aprovechando la creación de talleres que se aplicarán en el ambiente formativo de la Universidad de Valladolid.

4. CREACIÓN DE TALLERES EN LA FÁBRICA DE APRENDIZAJE

En este apartado se implementa el comienzo de una serie de prácticas, aplicables en el ámbito universitario, tras la adquisición de la fábrica de aprendizaje Fischertechnik por parte de la Universidad de Valladolid.

Para ello se aplica la metodología de aprendizaje inverso (*Flipped learning*), en la que los alumnos combinan el estudio individual con la cooperación entre ellos para superar una serie de cuestionarios previos y posteriores a la realización de cada taller.

4.1. Metodología

La metodología que se va a utilizar para llevar a cabo estos talleres estará basada en los tres pilares que se vienen utilizando en diversas asignaturas que se imparten en diferentes grados de Ingeniería de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Uva, como es el caso de la asignatura Sistemas de Producción y Fabricación: el aprendizaje inverso, el aprendizaje cooperativo y el aprender haciendo.

- Aprendizaje inverso (*Flipped learning*). Es una metodología pedagógica activa, en la que se invierten los papeles del profesor y del alumno. El trabajo que antes se hacía en el aula, ahora se desarrolla fuera de esta. Este trabajo es fundamentalmente basado en contenido audiovisual, que hace que el alumno pueda parar y analizar la información para ir a clase con ello aprendido. El aprendizaje inverso va a ser la metodología central de estas prácticas. Resultará clave para aplicar las otras dos metodologías. Permite aplicar el aprendizaje justo a tiempo, en el que justo antes de la clase el profesor pregunta sobre los conocimientos al alumno para adecuar la clase posterior al nivel.
- Aprendizaje cooperativo (*Cooperative learning*). Esta metodología hace que se trabaje en pequeños grupos dentro del aula, empleando distintas técnicas y herramientas digitales (gamificación). Las características de este aprendizaje son: una mayor interdependencia positiva, más interacción promotora, más responsabilidad individual y colectiva, mejora las habilidades socioemocionales y mejora los también los procesos grupales. Algunos de los beneficios que aporta este aprendizaje son: un mayor rendimiento, mayor implicación, mejores dinámicas sociales y mayor autoestima.
- Aprender haciendo (*Learning by doing*). Esta metodología invita a resolver problemas en el aula y a experimentar en el laboratorio con modelos de simulación. Acompañar la clase teórica con sesiones prácticas.

Como se ha explicado, el aprendizaje inverso va a ser la base de la metodología empleada en estas sesiones prácticas. Siguiendo esta metodología, la línea temporal (Figura 27) al aplicarla se divide en tres etapas (antes, durante y después).

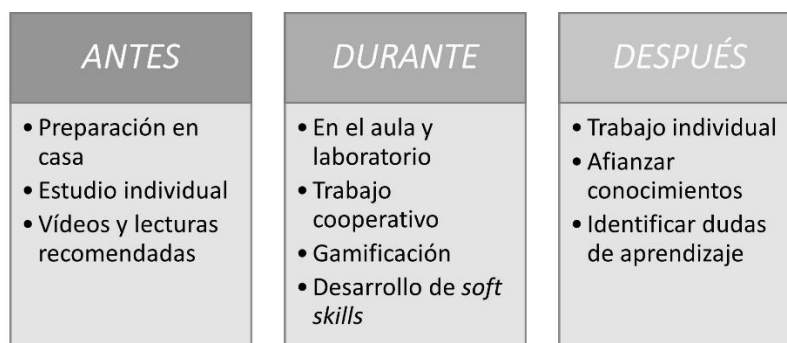


Figura 27. Línea temporal de la metodología flipped learning. Fuente: elaboración propia

El *antes* se centra en el periodo en el que el alumno está en casa preparando y estudiando individualmente el material didáctico necesario para la próxima sesión. Cada semana se deberá ver una serie de vídeos y realizar lecturas sosegadas de algunos documentos relacionados, tratando de asimilar los conceptos que aparecen en ellos.

En el *durante*, se practica lo aprendido en la etapa anterior. Se lleva a cabo en el aula, con actividades de trabajo cooperativo y gamificación; y en el laboratorio, con trabajo individual con las herramientas informáticas. Estas actividades programadas mejoran la comprensión de los contenidos más importantes y ayudan a desarrollar las habilidades blandas (*Soft skills*).

Por último, en la etapa del *después*, se afianzan los conocimientos de manera individual a la vez que se reflexiona sobre el aprendizaje alcanzado. Este trabajo autónomo permite identificar dudas de aprendizaje y, en alguna ocasión, trabajar contenido menos importante que no se haya podido desarrollar en el aula.

La herramienta más importante para trabajar el aprendizaje inverso que se va a emplear es *Socratic*, una aplicación donde se competirá entre equipos respondiendo cuestionarios en tiempo real. La retroalimentación inmediata es una parte vital del proceso de aprendizaje.

En cuanto a los resultados, la metodología contribuye a desarrollar una gran variedad de *soft skills* o competencias blandas como, por ejemplo, el trabajo en equipo (la capacidad de cooperar con los compañeros para obtener un resultado común), la gestión y planificación (programar las actividades en el tiempo y gestionar los recursos necesarios), la comunicación (comunicar de forma clara las ideas), el análisis (conocer la realidad a la que nos enfrentamos, simplificarla y construir nuevos conocimientos), el respeto (hacia las opiniones de los demás), la proactividad (tomar la iniciativa en una determinada actividad) o la sociabilidad (la capacidad de relacionarse con las demás personas).

4.2. Taller nº1 – Toma de contacto con la fábrica de formación

En esta primera sesión de taller se da una noción básica de las herramientas de la industria 4.0 que se emplean en la fábrica de formación Fischertechnik (digitalización y nube). También se describe brevemente alguno de los componentes de la fábrica (almacén automatizado con techo alto y manipulador por aspiración por vacío).

Siguiendo la metodología de aprendizaje inverso, la realización de cada taller se compone de la documentación previa aportada al alumno, el cuestionario *Socratic*, el guion para la realización de la práctica, el cuestionario final y la encuesta de reflexión para mejorar la metodología utilizada en el futuro.

Toda la documentación aportada, es la que utilizan directamente los alumnos, por lo que no se emplea la tercera persona en su redacción. En cuanto a la numeración de elementos, como figuras, sigue el orden correspondiente a cada documento en particular.

4.2.1. Documentación previa al taller nº1

En este primer taller, se va a describir brevemente lo que es la Industria 4.0, así como sus tecnologías habilitantes, que van a permitir tener una idea más clara del funcionamiento básico de la fábrica de formación Fischertechnik.

El objetivo del taller es servir de contacto a los alumnos con la fábrica de formación, analizando las ventajas e inconvenientes que tiene su utilización.

Para sacar el mayor partido al tiempo en el aula, es necesario trasladar fuera de ella la simple transmisión de conocimientos (Figura 1). Por ese motivo, se indicarán los materiales complementarios que debes leer o visualizar para ir preparado a la siguiente sesión.

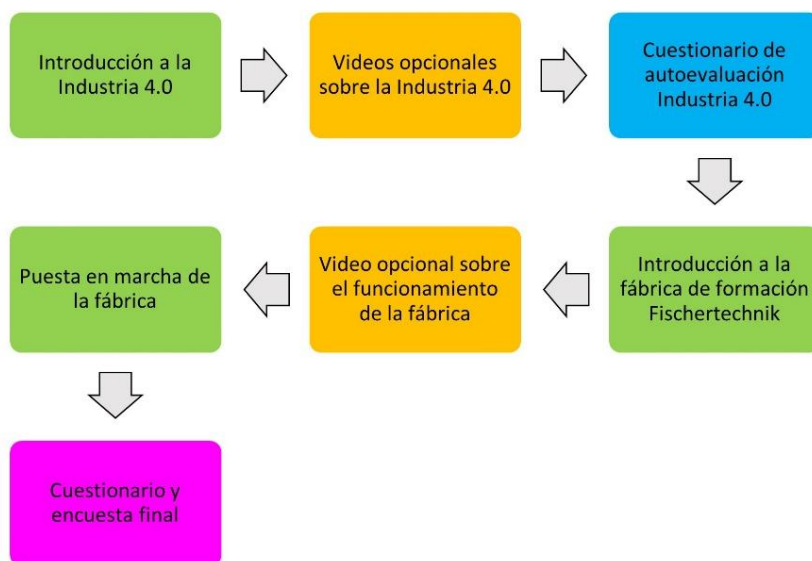


Figura 1. Trabajo autónomo previo al taller 1

Antes de comenzar con el taller y analizar el funcionamiento de la fábrica, vamos a definir las dos tecnologías habilitantes de la Industria 4.0 en las cuales se basa el funcionamiento de esta: el servicio en la nube y la digitalización.

- La *Nube* o el *servicio en la Nube* se compone de varias tecnologías que se encargan de acceder de forma remota al software, procesar datos y almacenarlos mediante la conexión a Internet o servicios internos de las propias empresas. Permite acceder de forma remota sin necesidad de tenerlo instalado en un ordenador concreto.
- Tradicionalmente, la innovación digital se centraba en la *digitalización* y sus procesos internos. Los estudios de los sistemas de información más recientes han reconocido los efectos transformadores de las tecnologías digitales en productos, servicios y modelos de negocio.

Aunque el uso de tecnologías digitales es considerado como necesario para la innovación digital, el alcance y los límites de las tecnologías digitales todavía no ha sido definida de manera consistente. Normalmente descrita como el uso de recursos digitales o la combinación de tecnologías de la información, computación, comunicación y conectividad, la tecnología digital es comúnmente usada como término de las tecnologías de la información en el contexto de la digitalización.

Una vez descritas estas herramientas de la industria 4.0 en las que nos vamos a basar, te recomiendo, aunque no es necesario, visualizar los vídeos complementarios que se indican a continuación:

- ❖ [Vídeo 1](#): 'Industria 4.0 – Fundamentos y puntos clave', de Asidek – CT Solutions Group.
- ❖ [Vídeo 2](#): 'Industria 4.0: La fábrica del futuro', de Azterlan Metallurgy Research Centre.
- ❖ [Vídeo 3](#): 'Industria 4.0', de KPMG.

Ten presente que son vídeos opcionales, aunque en mi opinión pueden ayudarte a entender mucho mejor los términos relacionados con la Industria 4.0.

Para valorar los conocimientos sobre la Industria 4.0, se realizará un pequeño cuestionario de autoevaluación (Anexo 2) sobre la materia, que encontrarás en el Campus Virtual. Ten en cuenta que esta actividad tiene una fecha límite indicada en Moodle.

Una vez repasados los conceptos relacionados con la Industria 4.0, comenzaremos a introducir el funcionamiento básico de la fábrica de formación Fischertechnik (Figura 2). Para ello, siempre nos basaremos en el [material didáctico](#) proporcionado por el propio fabricante.

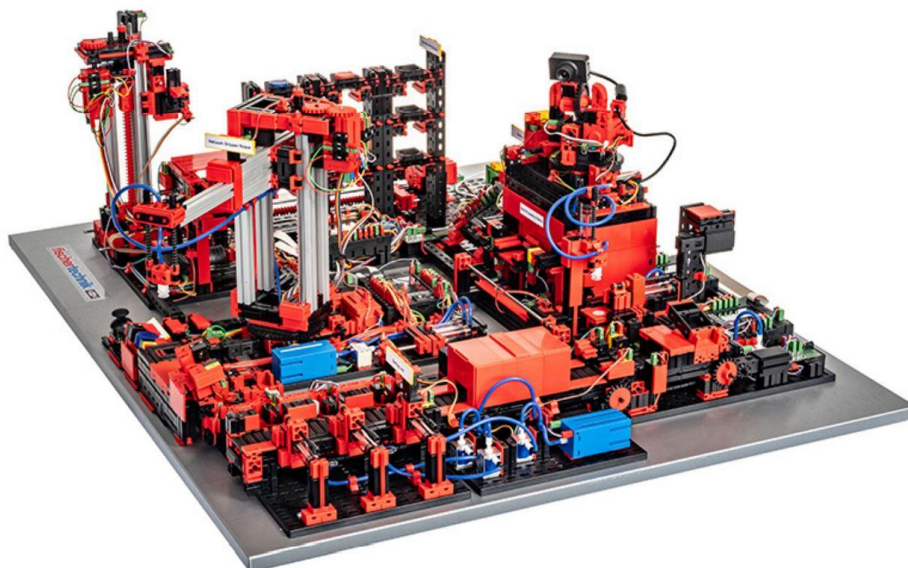


Figura 2. Ilustración de la célula de trabajo Fischertechnik completa

La base del funcionamiento de la fábrica de aprendizaje es el trabajo de forma automatizada. El manipulador de aspiración al vacío equipa el transelevador con piezas de trabajo. Este almacena las piezas de trabajo en la estantería elevada, ordenadas por color. Por último, las piezas de trabajo son transportadas hasta la estación de multiprocesamiento y allí son procesadas. A continuación, las piezas de trabajo procesadas son ordenadas por color en la cinta de clasificación y transportadas a los puntos de almacenamiento. Desde allí, las piezas de trabajo son transportadas nuevamente por el manipulador de aspiración al vacío hacia la estantería elevada. Este es un ciclo sin fin que se repite.

Para los más interesados, se recomienda ver el siguiente vídeo que muestra su funcionamiento:

❖ Vídeo: 'Fabrik simulation', de Fischertechnik

En este primer taller no se profundizará mucho en el funcionamiento de toda la estación de trabajo. Únicamente se darán las primeras indicaciones necesarias para la puesta en marcha de la estación, y se explicará brevemente el funcionamiento de dos de los principales elementos que lo forman, el almacén automatizado con techo alto y el robot del manipulador por aspiración.

- *Almacén automatizado con techo alto* (Figura 3). Los almacenes con techo alto ahorran superficie para el almacenamiento de mercancía, permitiendo un mejor aprovechamiento del espacio, aunque precisan de una alta inversión. En la *factory*, la retirada de la mercancía se produce mediante un elevador automatizado que localiza la posición en la que se encuentra y la lleva al punto de retirada.

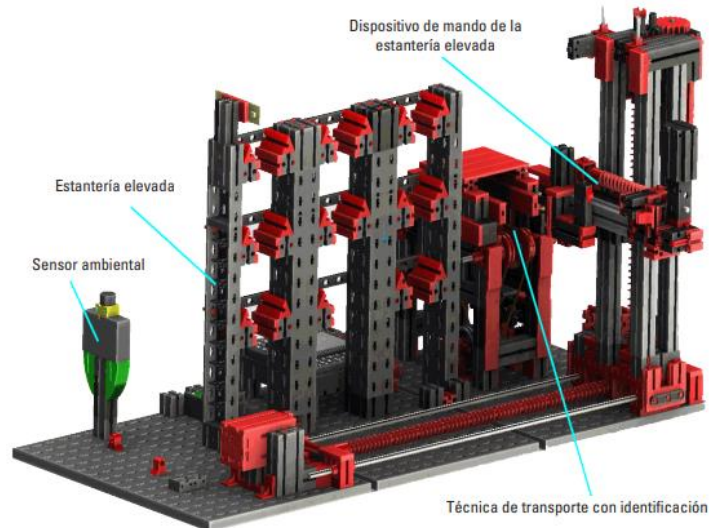


Figura 3. Ilustración del almacén automatizado con techo alto

- *Manipulador de aspiración por vacío* (Figura 4). Este robot de tres ejes coloca las piezas de forma precisa y con rapidez en los puntos que se seleccionen. Se puede emplear en funciones de manipulación con ayuda de la ventosa y el sistema de vacío para desplazar las piezas a la siguiente estación. El transporte de las piezas se puede definir de manera discontinua o como movimiento punto a punto.

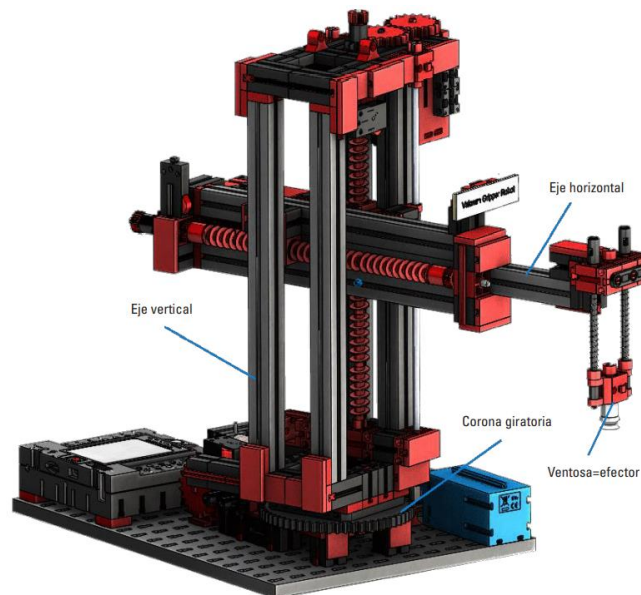


Figura 4. Ilustración del manipulador de aspiración por vacío

- *Estación de ingreso/salida con reconocimiento de color y lector NFC* (Figura 5). Esta estación se compone de cuatro áreas de trabajo, unidad de ingreso y salida, reconocimiento de color, lector NFC y estación de calibración. Con la barrera fotoeléctrica se reconoce si hay una pieza para el almacenamiento. Antes de continuar procesando la pieza, se determina el color, luego se le asignan diferentes datos a cada pieza. Con estos datos, el manipulador de aspiración al vacío deposita la pieza en el lector NFC y elimina todos los datos de la memoria para marcarla como materia prima.

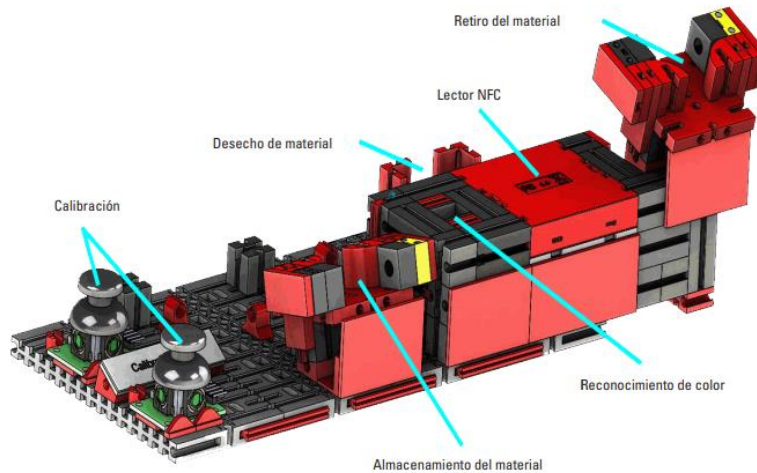


Figura 5. Ilustración de la estación de Ingreso/salida con lector NFC

Otros elementos involucrados en el funcionamiento son los paneles de control. Hay tres tipos de paneles de control en esta estación: panel de control de la fábrica, panel de control de la cámara y panel de control ambiental. Para garantizar un correcto funcionamiento, hay que asegurarse de conocer y controlar todos ellos para que trabajen sin incidencias.

- El *panel de control de la fábrica* (Figura 6) se puede accionar y manipular desde dispositivos móviles como teléfonos o tabletas. Este panel permite representar el escenario desde tres perspectivas: la vista del cliente, la vista del fabricante y la vista de producción.

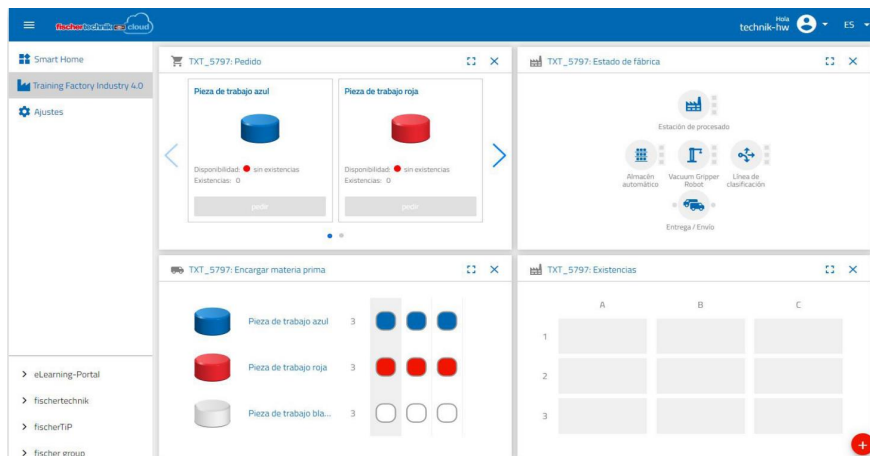


Figura 6. Ilustración del panel de control de la fábrica

- En el *panel de control de la cámara* (Figura 7) se puede manejar la cámara de grabación en tiempo real. Permite hacer grabaciones en tiempo real de la fábrica y recibir una vista general sobre toda la instalación.



Figura 7. Ilustración del panel de control de la cámara

- Además de controlar las funciones de la cámara, en el *panel de control ambiental* se puede ver la información que procesa el sensor ambiental.

Después de realizar la solicitud en el panel de control, las piezas de trabajo recorren el respectivo módulo de la fábrica y el estado actual se hace visible de inmediato en el panel de control. El sensor ambiental integrado informa los valores de temperatura, humedad del aire, presión del aire y calidad del aire. La cámara observa la instalación completa mediante su radio de giro vertical y horizontal y, de esta forma, es útil para un control remoto a través de internet.

Las piezas de trabajo individuales son rastreadas por medio de NFC (*Near Field Communication*): cada pieza recibe un número de identificación (ID) determinado. Esto hace posible el seguimiento y la visibilidad del estado actual de la pieza durante el procesamiento.

La fábrica de aprendizaje 4.0 es controlada por medio de seis controladores TXT, que son alimentados a través de tres fuentes de alimentación de 9 V. Estas están interconectadas unas con otras y se comunican dentro de la fábrica mediante MQTT. MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) es un protocolo de mensajes que hace posible el intercambio de datos en forma de mensajes entre los dispositivos.

El controlador TXT central es el TXT 0 que actúa como MQTT *Broker* (servidor) y, a su vez, como MQTT *Client* (cliente), y transmite los datos de la fábrica de aprendizaje 4.0 QTT *Broker* remoto. Los datos entre ambos MQTT *Broker* (local y remoto) son transferidos, codificados, mediante un MQTT *Bridge* (puente) al puerto 8883. La comunicación local entre los MQTT *Clients* se realiza a través del puerto 1883.

Desde el punto de vista físico, los controladores TXT (TXT 0 - 4) están conectados al enrutador *TP-link* Nano con una dirección IP fija a través de la red *WLAN*. El *TP-link* es la interfaz entre internet y la fábrica.

Para la prueba, encienda los controladores individuales (ON/OFF). Si todo funciona, se deben encender las pantallas, se deben elevar los controladores y se deben iluminar las luces de control. Para comenzar la operación en la fábrica, hay que iniciar las aplicaciones de los controladores, tal y como se describe en la Figura 8.

Tras encender el controlador TXT, se cargan de manera automática los programas y solo es necesario iniciarlos. Los programas de cada controlador deben estar en funcionamiento; tras presionar el botón verde, este deberá cambiar al color rojo en la pantalla del controlador. La fábrica estará lista para su uso cuando se hayan iniciado todos los programas.

Estación de multiprocesamiento

TxtFactoryMPO

Sistema de clasificación

TxtFactorySLD

Almacenes con techo alto

TxtFactoryHBW

Manipulador de aspiración al vacío con estación de almacenamiento de entrada y salida

TxtFactoryVGR

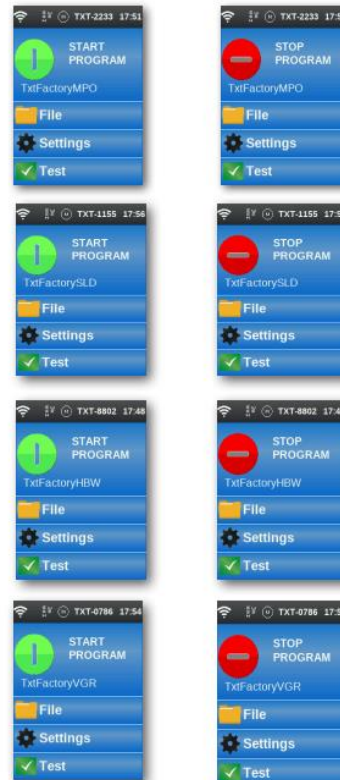


Figura 8. Ilustración de los controladores necesarios para operar la fábrica

Tras estas actividades, tan solo quedará responder el cuestionario (Anexo 5) y la encuesta de reflexión (Anexo 6) que encontrarás en el Campus Virtual. En esta última te pido que valores distintos aspectos relacionados con la metodología, los contenidos, el material que te he facilitado y tu propio trabajo. Ten en cuenta que ambas actividades Moodle tienen una fecha límite.

Además de ayudarte a reflexionar, las encuestas de reflexión me permiten identificar problemas y oportunidades de mejora. Por este motivo, para animarte a participar, y también como agradecimiento, completar las encuestas tiene 'premio' en tu evaluación final.

4.2.2. Guion del taller nº1

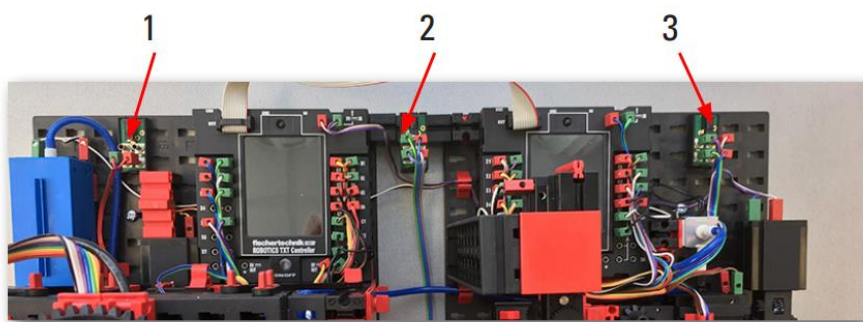
Para comenzar a utilizar la fábrica de aprendizaje de Fischertechnik, se seguirán una serie de pasos tal y como se describe en el material didáctico de ayuda que proporciona la marca.

Primero, te aconsejo realizar un **control visual** para comprobar si algún componente se desprendió o resultó dañado la última vez que se utilizó la fábrica. Dado el caso, vuelve a colocar los componentes sueltos en su lugar correcto. Para ello, compara el modelo con las imágenes comparativas de la «simulación de fábrica» disponibles en el portal eLearning.

Comprueba que todos los cables y las mangueras estén conectados. Con ayuda de los planes de asignación podrás conectar correctamente los cables que se encuentren desconectados. Si todos los eventuales errores han sido solucionados, comprueba que la estación está conectada a la red eléctrica. Preferentemente, utiliza una regleta de 5 enchufes con interruptor de encendido. De esta forma, podrás encender y apagar la instalación. Consejo: Pega la regleta con varios enchufes mediante una cinta bifaz junto a la estantería elevada.

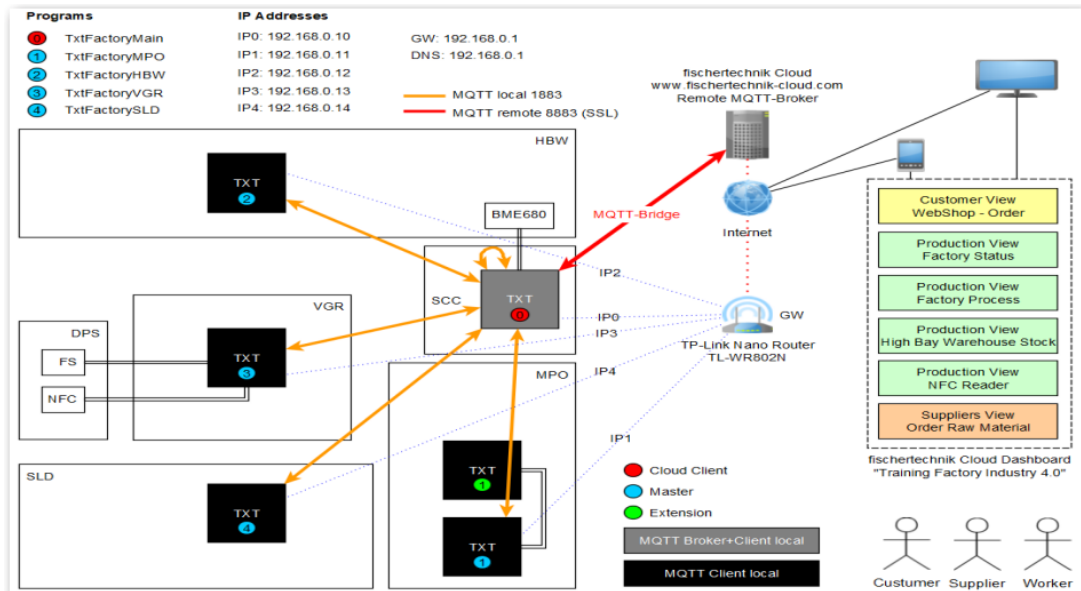
Tres fuentes de alimentación de 9 V CC/2,5 A alimentan a 2 controladores TXT correspondientemente. Cada fuente de alimentación se conecta a uno de los 3 miniadaptadores CC. La ubicación de los adaptadores CC es la siguiente:

- Adaptador CC 1: Para el almacén con techo alto y la estación de sensor en la placa de construcción 1 junto al compresor azul.
- Adaptador CC 2: Para el sistema de clasificación y el manipulador de aspiración al vacío entre las placas de construcción 1 y 2 de la estación de multiprocesamiento.
- Adaptador CC 3: Para la estación de multiprocesamiento en la 2.a placa de construcción de la estación de multiprocesamiento.



Para la **prueba**, enciende los controladores individuales (ON/OFF). Si todo funciona, se deben encender las pantallas, se deben elevar los controladores y se deben iluminar las luces de control. Por último, equipa el almacén con techo alto con los 9 contenedores negros vacíos suministrados.

El **diagrama de bloques** muestra cómo se comunican los componentes de la fábrica entre sí y cómo se conecta la instalación a internet y a la nube de Fischertechnik. Asimismo, en el diagrama de bloques se puede ver a qué información puede acceder el usuario a través de su ordenador, su tableta o su teléfono inteligente.

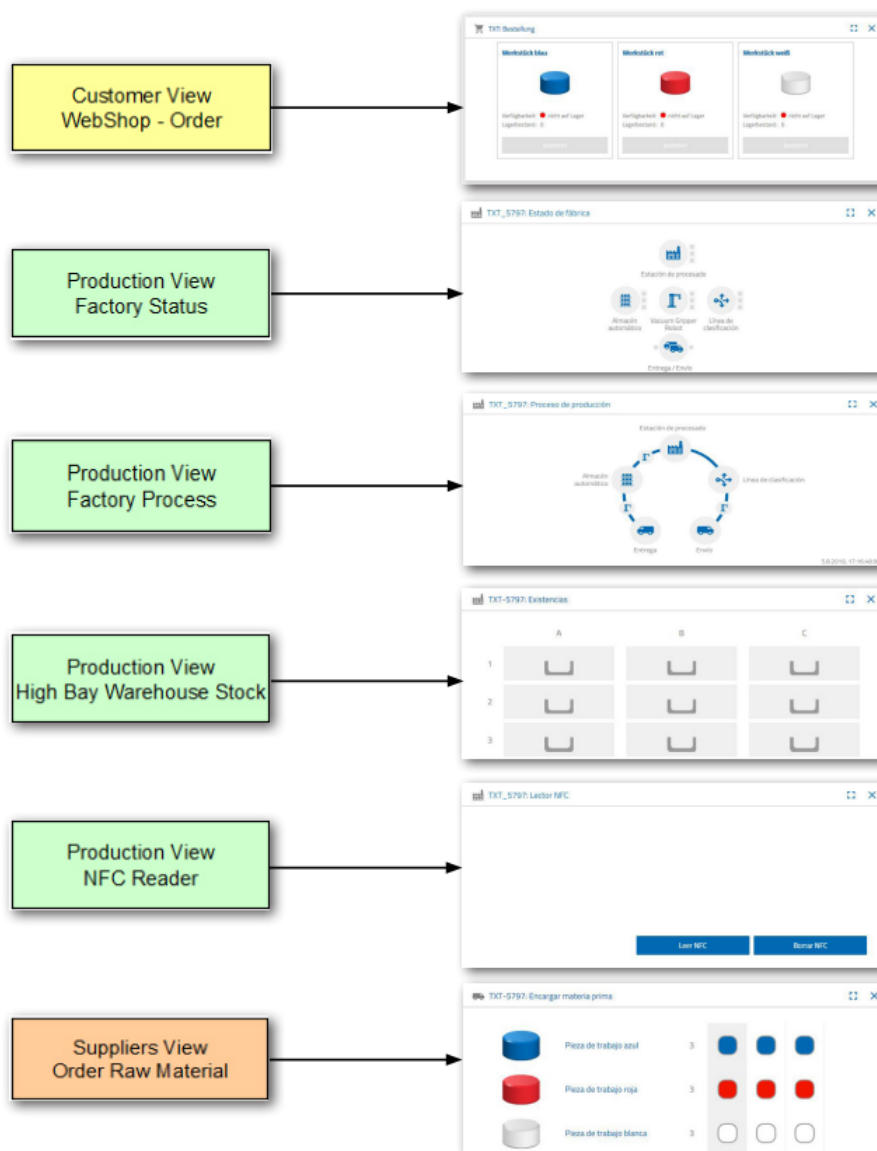


El controlador TXT central es el TXT 0 que actúa como MQTT *Broker* (servidor) y, a su vez, como MQTT *Client* (cliente), y transmite los datos de la fábrica de aprendizaje 4.0 QTT *Broker* remoto. Los datos entre ambos MQTT *Broker* (local y remoto) son transferidos, codificados, mediante un MQTT *Bridge* (puente) al puerto 8883. La comunicación local entre los MQTT *Clients* se realiza a través del puerto 1883.

MQTT significa «*Message Queuing Telemetry Transport*». MQTT es un protocolo de mensajes abierto para la comunicación de máquina a máquina (M2M). Hace posible el intercambio de datos en forma de mensajes entre los TXT individuales. Desde el punto de vista físico, los controladores TXT (TXT 0 - 4) están conectados al enrutador *TP-link Nano* con una dirección IP fija a través de la red *WLAN*. Todos son accionados en *WLAN* modo cliente. A través del enrutador *TP-link Nano* se establece también la conexión a internet. Para ello se puede utilizar un cable de ethernet (configuración predeterminada) u otro enrutador *WLAN*. El *TP-link* es la interfaz entre internet y la fábrica.

Las líneas de puntos negras y rojas indican el flujo de datos entre los controladores individuales, el enrutador y la nube de Fischertechnik. Las dos líneas negras representan el intercambio de datos hacia los dispositivos terminales (ordenador, ordenador portátil, teléfono inteligente).

El diagrama de bloques muestra las representaciones individuales dentro del **panel de mando** «*Training Factory Industry 4.0*».



Para **conectar la fábrica de aprendizaje 4.0 a Internet** se debe configurar el *TP-link*. Para acceder a él, utiliza tu ordenador u ordenador portátil.

Importante: Separe una conexión existente a internet de su ordenador principal (compatible con *WLAN*) con el enrutador. Preferentemente, retira el cable LAN de ethernet del ordenador.

El *TP-link* está montado de manera firme en su instalación. Antes de integrarlo (configurarlo) a su entorno de trabajo, debes realizar un reinicio. Enciende el controlador TXT al cual está conectado el *TP-link* (TXT 0). En el *TP-link* parpadea la luz verde. Presiona con un objeto puntiagudo (pequeño destornillador) el botón de reinicio durante 5 segundos. La luz se apaga. El *TP-link* se inicia nuevamente. La luz vuelve a parpadear.

En tu ordenador principal, abre el menú de opciones «Acceso a internet» mediante el botón de «Acceso a internet». Aparecerá una pantalla con las redes que se encuentran

en su entorno. No debe aparecer tu enrutador de red en la lista. Sin embargo, sí debe aparecer el *TP-link*. De no ser así, vuelve a hacer clic sobre «*Wi-Fi*» y nuevamente sobre «*Wi-Fi*». De esta forma, se buscan y se accede a todas las redes *WLAN*.

A continuación, activa la red *TP-link* indicada. Aparece otro menú de opciones. Selecciona el botón «Conectar». Luego de un breve período de tiempo aparece la ventana en la cual se le solicita que ingrese la contraseña de seguridad de la red. Esta se encuentra en la parte inferior del *TP-link*.

Después de ingresar la contraseña, confirma con el botón «Siguiente». En el siguiente paso se verifica la contraseña y el *TP-link* se conecta a su ordenador por la red *WLAN*. La última ventana de opciones muestra la conexión exitosa.

A continuación, debes configurar el *TP-link* para su red. Para ello abre el navegador web (*Firefox* o *Chrome*). Introduce la página <http://tplinkwifi.net> y accede al sitio web. Aparecerá la siguiente página:



Para los ajustes siguientes cambia a la ventana «*Operation Mode*»:



CAPÍTULO 4

Confirma el siguiente mensaje haciendo clic en OK. Se guardarán los ajustes configurados (reinicio). En la visualización del estado puede observar el progreso del reinicio.

En el siguiente paso de trabajo cambia a la ventana «Wireless». En la ventana «Wireless», seleccione «Basic Settings». En la ventana de ingreso (*Basic Settings*) haga clic en «Scan».

TP-Link Wireless N Nano Router WR802N
Model No. TL-WR802N

Wireless Basic Settings

Client Setting

SSID(to be bridged):

MAC Address(to be bridged): e.g. 00-1D-0F-11-22-33

Key Type:

WEP Index:

Authentication Type:

Encryption:

Password:

AP Setting

Local Wireless Network Name: (Also called SSID)

Mode:

Channel:

Channel Width:

Enable SSID Broadcast

TP-Link Wireless N Nano Router WR802N
Model No. TL-WR802N

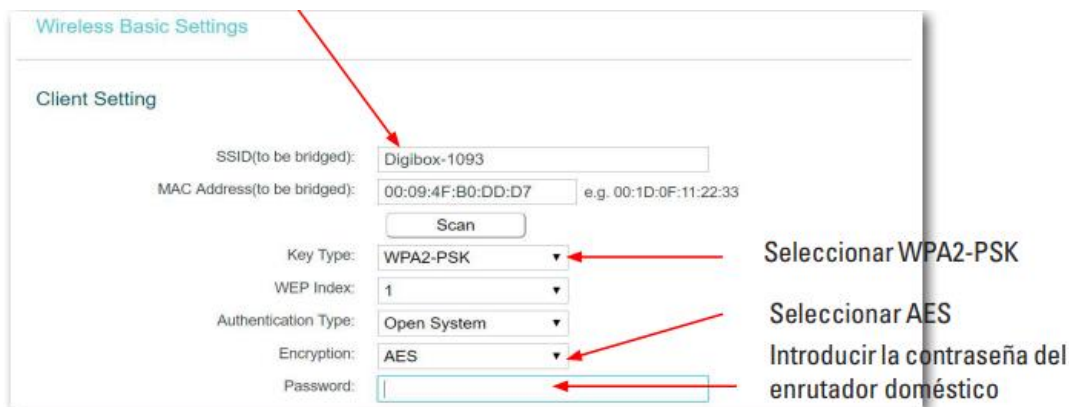
AP List

The scanned APs within the area:

APs: 8

ID	BSSID	SSID	Signal strength	Channel	Encryption	Connect
1	5C:35:3BF13E3C	KDG-19E37	85	1	WPA-PSK/AES	Connect
2	04:35:3BF13E3E	Vodafone Hotspot	85	1	None	Connect
3	8A:5C:44:5B:40:14	Vodafone Homespot	42	1	None	Connect
4	90:5C:44:5B:40:14	KabelBox-8710	40	1	WPA2-PSK/AES	Connect
5	86:5C:44:5B:40:14	Vodafone Hotspot	40	1	None	Connect
6	DC:53:7C:A8:5D:6C	KDG-85D67	38	1	WPA-PSK/AES	Connect
7	4C:5E:0C:13:63:C8	Hunger-2G	34	8	WPA2-PSK/AES	Connect
8	4E:5E:0C:13:63:C8	Hunger-2G-Gast	34	8	WPA2-PSK/AES	Connect

En tu enrutador, que debe estar conectado con el TP-link, selecciona el botón «Connect». Se vuelve a mostrar la pantalla «Basic Settings» (sección). Los datos que antes faltaban, ahora se completan de manera automática «Client Setting».



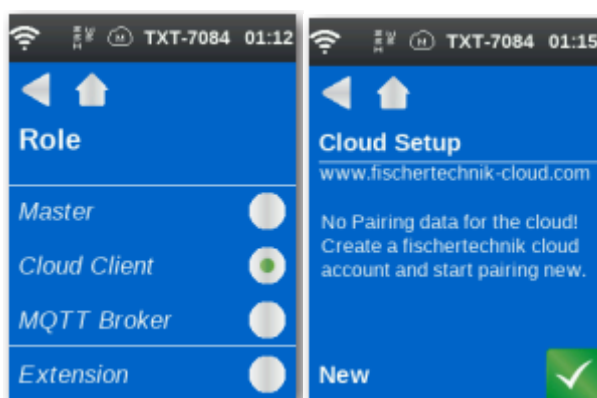
Cierra la configuración con «Save». Después de un breve período de tiempo, se ilumina la luz en el *TP-link*. Tu *TP-link* está ahora conectado a internet a través de su enrutador.

Nota: Si se ingresa una contraseña incorrecta, aparece un aviso de error y la página simplemente se detiene. Se debe volver a ingresar la contraseña de forma correcta.

Importante: Vuelve a conectar su cable *LAN* de *ethernet* al ordenador. En este momento, podrás finalizar la conexión entre su ordenador y el *TP-link*.

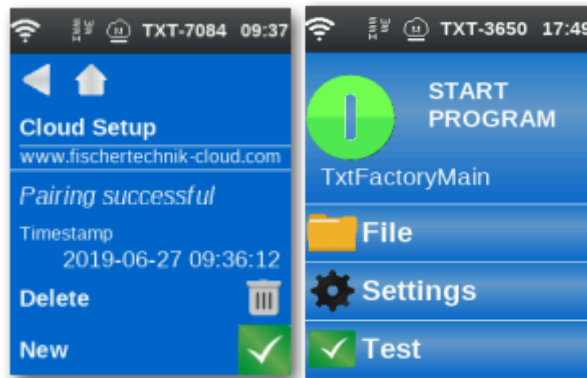
Para **conectar a la nube** la fábrica de aprendizaje 4.0, solo un controlador TXT está conectado a ella, el TXT 0, que también controla la cámara móvil. La conexión de la red *WLAN* con el *TP-link* está preestablecida de fábrica. Los siguientes ajustes son necesarios en este TXT para la conexión a la nube de Fischertechnik: En el TXT, activa «Ajustes - Características - *Cloud Client*». A continuación, vuelve a la pantalla de «Inicio» mediante el botón «*Home*».

Conecta el controlador TXT con la nube de Fischertechnik a través de «Ajustes - Red - Ajustes de la nube - Nueva conexión».



Cuando el controlador TXT pueda establecer una conexión con la nube, aparecerá un código QR y un código de conexión. Dispondrás de 30 minutos para asociar el controlador TXT a su cuenta en la nube. Transcurrido ese tiempo, deberás volver a iniciar el proceso de conexión. Puedes escanear el código QR, por ejemplo, con la aplicación «*Quick Scan*» y serás dirigido automáticamente a la nube de Fischertechnik. El

controlador TXT está conectado a la nube. Carga en el controlador TXT bajo «Archivo - Nube» la aplicación *TxtFactoryMain*.



Para **iniciar la operación de fábrica**, inicia las aplicaciones en los cuatro controladores tal como se describe a continuación: Al encender el controlador TXT, los programas se cargan automáticamente a través del «Auto Load» y solo deben ser iniciados.

Estación de multiprocesamiento

TxtFactoryMPO

Sistema de clasificación

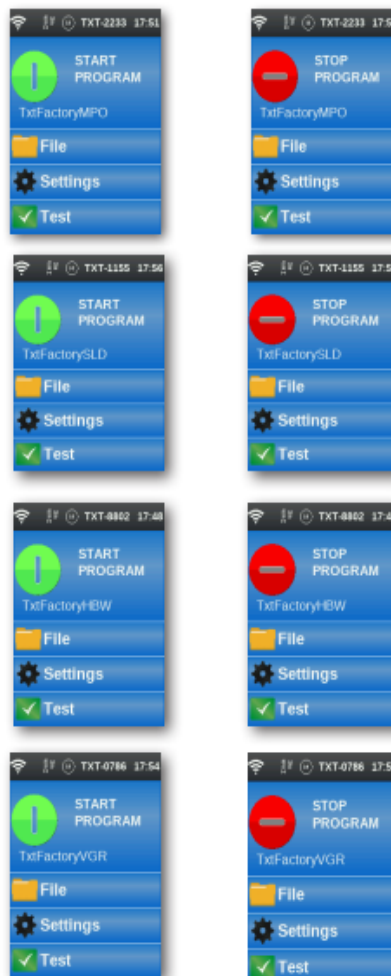
TxtFactorySLD

Almacenes con techo alto

TxtFactoryHBW

Manipulador de aspiración al vacío con estación de almacenamiento de entrada y salida

TxtFactoryVGR



Controles al finalizar: Los programas en cada controlador TXT deben estar en funcionamiento. Esto se puede reconocer por el símbolo rojo en la pantalla del controlador. Cuando se han iniciado todos los programas, la fábrica de aprendizaje 4.0 lista para su uso.

Tarea 1. Antes de que la materia prima pueda almacenarse en el almacén con techo alto, los compartimentos deben estar equipados con los contenedores vacíos suministrados. Esta es la primera tarea que debe realizar como encargado del almacén.



Tarea 2. Solicite la materia prima que deba almacenarse en el almacén con techo alto como aprovisionamiento. Para ello, almacene la materia prima de forma manual en la estación de ingreso. En primer lugar, almacene solo una pieza blanca como pieza de trabajo.

En primer lugar, coloca una pieza blanca en la entrada de material. La pieza de trabajo (materia prima) interrumpe la barrera fotoeléctrica. Este proceso es conocido como «Entrega» y se encuentra representado en la ventana del panel de control de «Proceso productivo» con el icono «Entrega» resaltado en color verde. A continuación, el manipulador de aspiración al vacío se dirige a la posición de almacenaje, toma la materia prima y la mueve hacia el lector NFC.

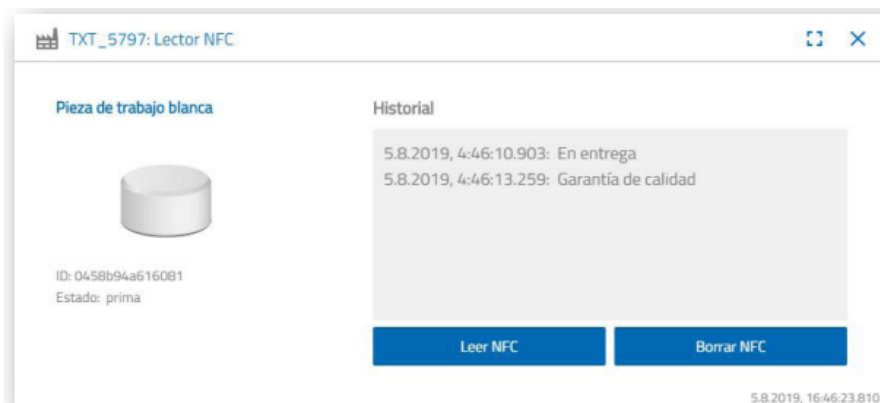


En la ventana del panel de control, el proceso se representa de la siguiente manera: La entrega y el manipulador de aspiración al vacío están activos y se observan en color verde. Aquí se borran todos los datos que se encuentran en la etiqueta NFC de la materia prima.



En el siguiente paso de trabajo se determina el color de la materia prima. Para ello, el manipulador de aspiración al vacío mueve la materia prima a través del sensor de color. Los datos están a disposición del lector NFC para continuar con el procesamiento. Antes de que la materia prima sea almacenada, los datos de color determinados y el resto de la información, como los datos de entrega y los datos de control de calidad, son escritos en la etiqueta NFC con el lector NFC.

Ya que ambos módulos de la fábrica (entrega y manipulador de aspiración al vacío) aún están activos, se siguen mostrando en color verde en la ventana del panel de control de «Proceso productivo». Estos datos se muestran en la ventana del panel de control «Lector NFC».



¿Qué sucede a continuación? El almacén con techo alto pone a disposición un contenedor vacío para recibir la materia prima. Para ello, el brazo mecánico se dirige a la posición del contenedor vacío, lo toma con su corredera y lo coloca en el dispositivo de entrada y salida.

El transportador es transportado mediante el dispositivo de transporte a la posición de ingreso. El brazo del manipulador de aspiración al vacío gira a la posición de depósito, desciende y coloca la materia prima en el contenedor que se encuentra preparado. El contenedor con la materia prima es transportado en el dispositivo de ingreso y salida hacia la posición de recogida del brazo mecánico del almacén con techo alto. Aquí, el contenedor es recogido, transportado hacia el lugar de almacenamiento de la estantería elevada y allí es depositado.

En la ventana del panel de control «Proceso productivo» se muestra cómo sigue el siguiente proceso de almacenamiento. Los iconos de todos los módulos activos de la fábrica se iluminan en color verde cuando los módulos están en acción.



4.2.3. Cuestionario de autoevaluación sobre la Industria 4.0

Este es un breve cuestionario con preguntas sencillas sobre la Industria 4.0 que te ayudará a entender mejor la materia que veremos posteriormente.

1. La tercera revolución industrial se caracteriza por el uso de la electricidad en la industria.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
2. La principal novedad de la cuarta revolución industrial es:
 - a) La robótica
 - b) La fusión de tecnologías de computadores y robótica
 - c) El reemplazo de trabajadores por sistemas automáticos
3. Un sistema ciberfísico integra sistemas de computación con...
 - a) ...sistemas de robótica industrial
 - b) ... soluciones de inteligencia artificial
 - c) ... capacidades de seguimiento y/o control de objetos
4. El concepto de Industria 4.0 está estrechamente ligada a los conceptos de robótica y redes de sensores, así como soluciones de inteligencia artificial.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
5. El *Digital Supply Chain* es un habilitador digital de la Industria 4.0 según el Ministerio de Industria.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
6. La clave de este elemento crítico de *Industry 4.0* es el análisis de *Big Data*.
 - a) Verdadero
 - b) Falso

7. Un producto digital es:
 - a) Un conjunto de actividades que a través de herramientas sociales permite establecer conexiones entre los empleados
 - b) Simplemente un producto o herramienta que se crea una vez y puede venderse muchas veces
 - c) Una alineación que permite a las empresas de fabricación alcanzar los objetivos de tiempo de lanzamiento al mercado y de volumen
8. Uno de los siguientes NO es un reto de la digitalización de la industria:
 - a) Garantizar la sostenibilidad a largo plazo
 - b) Aprovechar la información para anticipar las necesidades de cliente
 - c) Combinar flexibilidad y eficiencia en los medios productivos
9. El promedio de las empresas analizadas se encuentra en el desarrollo de planes de negocio para la implantación de nuevas tecnologías.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
10. El 34% de las empresas...
 - a) ... No está preparada para Industria 4.0
 - b) ... Está preparada para la implementación y desarrollo de primeras aproximaciones de tecnologías
 - c) ... Ha desarrollado planes completos de digitalización
11. La Transformación Digital hace referencia:
 - a) A la alineación permite a las empresas de fabricación alcanzar los objetivos de tiempo de lanzamiento al mercado y de volumen
 - b) Al conjunto de actividades que a través de herramientas sociales permite establecer conexiones entre los empleados
 - c) Al uso de un sistema integrado basado en computadora compuesto por herramientas de simulación, visualización 3D, análisis y colaboración

4.2.4. Cuestionario Socrative del taller nº1

1. La principal novedad de la cuarta revolución industrial es:
 - a) La robótica
 - b) La fusión de tecnologías de computadores y robótica
 - c) El reemplazo de trabajadores por sistemas automáticos
2. Un producto digital es:
 - a) Un conjunto de actividades que a través de herramientas sociales permite establecer conexiones entre los empleados
 - b) Simplemente un producto o herramienta que se crea una vez y puede venderse muchas veces
 - c) Una alineación que permite a las empresas de fabricación alcanzar los objetivos de tiempo de lanzamiento al mercado y de volumen

3. La Transformación Digital hace referencia:
 - a) A la alineación permite a las empresas de fabricación alcanzar los objetivos de tiempo de lanzamiento al mercado y de volumen
 - b) Al conjunto de actividades que a través de herramientas sociales permite establecer conexiones entre los empleados
 - c) Al uso de un sistema integrado basado en computadora compuesto por herramientas de simulación, visualización 3D, análisis y colaboración
- 4.Cuál de las siguientes NO es una tecnología habilitadora de la Industria 4.0:
 - a) Sistemas ciberfísicos
 - b) Nube
 - c) Trabajo cooperativo de los empleados
5. Un sistema ciberfísico integra sistemas de computación con...
 - a) ...sistemas de robótica industrial
 - b) ... soluciones de inteligencia artificial
 - c) ... capacidades de seguimiento y/o control de objetos
6. Los robots industriales en la fábrica de Fischertechnik se emplean para:
 - a) Manipulación y/o fabricación
 - b) Unión de diferentes piezas de trabajo
 - c) Medición de la temperatura superficial de las piezas
7. ¿Qué tecnología permite rastrear la posición de las piezas en la fábrica Fischertechnik y determinar su número de identificación (ID)?
 - a) Bluetooth
 - b) WiFi
 - c) NFC

4.2.5. Cuestionario final sobre el taller nº1

Este es un breve cuestionario con preguntas relacionadas con el contenido tratado en el primer taller. Las respuestas correctas sumarán 1 punto mientras que las respuestas incorrectas restarán la mitad del valor de la pregunta. La nota obtenida determinará la calificación correspondiente a esta primera sesión de prácticas.

1. La digitalización en la producción industrial exige, en todos los niveles de producción, una conexión más robusta e información más inteligente.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
2. La fábrica de aprendizaje Fischertechnik sirve para...
 - a) ...aprender y conocer las aplicaciones de la Industria 4.0
 - b) ...formación de personal
 - c) ...la investigación y el desarrollo en universidades
 - d) Todas las anteriores son correctas

3. La simulación en la fábrica permite representar solicitudes de pedido de materia prima.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
4. Los robots industriales en la fábrica de Fischertechnik se emplean para:
 - a) Manipulación y/o fabricación
 - b) Unión de diferentes piezas de trabajo
 - c) Medición de la temperatura superficial de las piezas
5. En el almacén de techo alto automatizado, además de servir para el almacenamiento y retiro de mercancías, también sirve para:
 - a) Clasificar las piezas de trabajo por colores
 - b) Preparación de mercancías
 - c) Desplazar las piezas por la cinta transportadora
6. El aspecto geométrico del área de trabajo del manipulador de aspiración al vacío se compone de:
 - a) Dos ejes de rotación y uno de traslación
 - b) Dos ejes de traslación
 - c) Dos ejes de traslación y uno de rotación
7. El posicionamiento del manipulador de aspiración respecto a la pieza de trabajo puede definirse como un movimiento de punto a punto o como un camino no continuo.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
8. ¿Qué tecnología permite rastrear la posición de las piezas en la fábrica Fischertechnik y determinar su número de identificación (ID)?
 - a) Bluetooth
 - b) WiFi
 - c) NFC
9. El panel de control de la fábrica permite:
 - a) Solicitar materia prima
 - b) Controlar los inventarios de cada materia prima
 - c) Realizar pedidos de materia prima
 - d) Todas las anteriores son correctas
 - e) Ninguna de las anteriores es correcta
10. El panel de control de la cámara permite:
 - a) Recibir una vista general de toda la instalación
 - b) Controlar el valor de la calidad del aire
 - c) Solicitar una pieza de trabajo
 - d) Todas las anteriores son correctas
 - e) Ninguna de las anteriores es correcta

4.2.6. Encuesta de reflexión sobre el taller nº1

En relación con los contenidos, marque una sola respuesta (1=más bajo, 5=más alto) ...

1. Con relación a la introducción del taller 1 de la fábrica de aprendizaje Fischertechnik, ¿cómo valorarías el nivel de comprensión que has alcanzado sobre Industria 4.0?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

2. ¿Existe algún contenido concreto que no te haya quedado suficientemente claro?

3. Respecto a los contenidos de estudio previo correspondientes a este primer taller, ¿qué grado de dificultad crees que tiene la nube y la digitalización?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

También me gustaría conocer tu opinión sobre los materiales que te he facilitado para este taller como elementos de apoyo en tu proceso de aprendizaje. Por eso te pido valorar...

4. El mensaje inicial (contextualización, guía de acción, ...)
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

5. Los vídeos complementarios sobre Industria 4.0.
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

6. El vídeo sobre el funcionamiento de la estación de trabajo Fischertechnik.
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

CAPÍTULO 4

7. El cuestionario de evaluación.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

8. Esta encuesta de reflexión.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

9. De forma breve, indícame lo que consideras más positivo de estos materiales y aquello en lo que crees que se debe seguir trabajando. Muchas gracias por tu colaboración.

Por último, te pido información sobre el trabajo que has realizado durante esta semana...

10. ¿Has participado activamente en el aula?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

11. ¿Con qué grado de dedicación has estudiado el material?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

12. ¿Cuánto tiempo, en minutos, estimas que has tardado en realizar las tareas de esta semana?

13. Comentarios adicionales que nos puedan ayudar a adaptar el curso a tus necesidades formativas.

4.3. Taller nº2 – Funcionamiento de la fábrica y pedidos de materia prima

En esta segunda sesión de taller, y con las nociones aprendidas de la sesión anterior, se profundiza en el funcionamiento del resto de estaciones de trabajo de la fábrica. También se describe cómo realizar los pedidos de materia prima y el control de los inventarios del almacén en cada momento.

Durante este taller, se sigue empleando la metodología de la sesión anterior, el aprendizaje inverso. Toda la documentación aportada, es la que utilizan directamente los alumnos, por lo que no se emplea la tercera persona en su redacción. En cuanto a la numeración de elementos, como figuras, sigue el orden correspondiente a cada documento en particular.

4.3.1. Documentación previa al taller nº2

En este segundo taller, se va a simular un proceso de compra de mercancías en la fábrica de formación Fischertechnik en función de las piezas necesarias en cada momento. Se van a describir las estaciones de trabajo involucradas, así como la variación del inventario en los servicios de la nube.

El objetivo de este taller es comenzar a realizar operaciones con la fábrica de aprendizaje después de haber tenido una toma de contacto con ella en el taller anterior.

Para sacar el mayor partido al tiempo en el aula, es necesario trasladar fuera de ella la simple transmisión de conocimientos (Figura 1). Por ese motivo, se indicarán los materiales complementarios que debes leer o visualizar para ir preparado a la siguiente sesión.

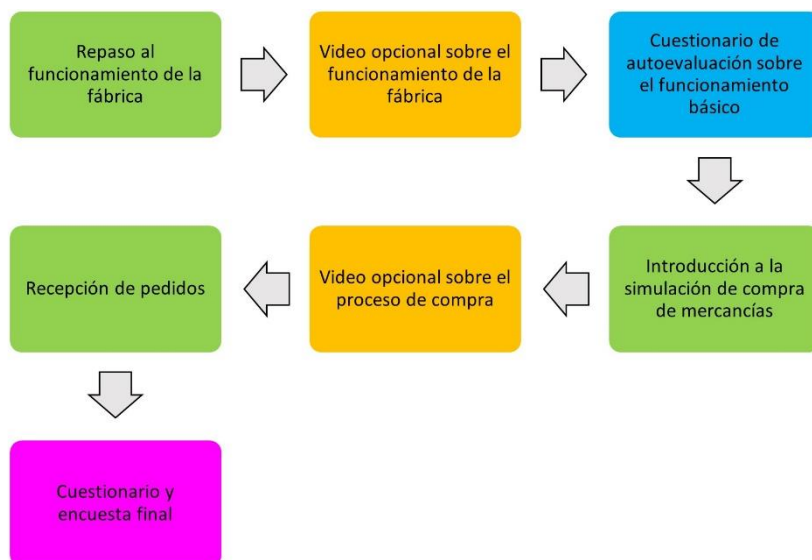


Figura 1. Trabajo autónomo previo al taller 1

Después de presentar en el taller anterior el almacén automatizado de techo alto y el manipulador de aspiración por vacío, le toca el turno al resto de las estaciones de trabajo de la fábrica.

- *Estación de multiprocesamiento con horno* (Figura 2). En esta estación la pieza pasa por varias subestaciones de manera automatizada donde se simulan diferentes procesos. Se utilizan, para este fin, varios métodos de transporte como cintas transportadoras, mesas giratorias o manipuladores de aspiración. El proceso empieza en el horno, donde se introduce la pieza. Posteriormente, el transporte por succión la lleva hacia la mesa giratoria, que sitúa la pieza bajo la fresadora. Tras esto, la pieza se desplaza al sistema de clasificación.

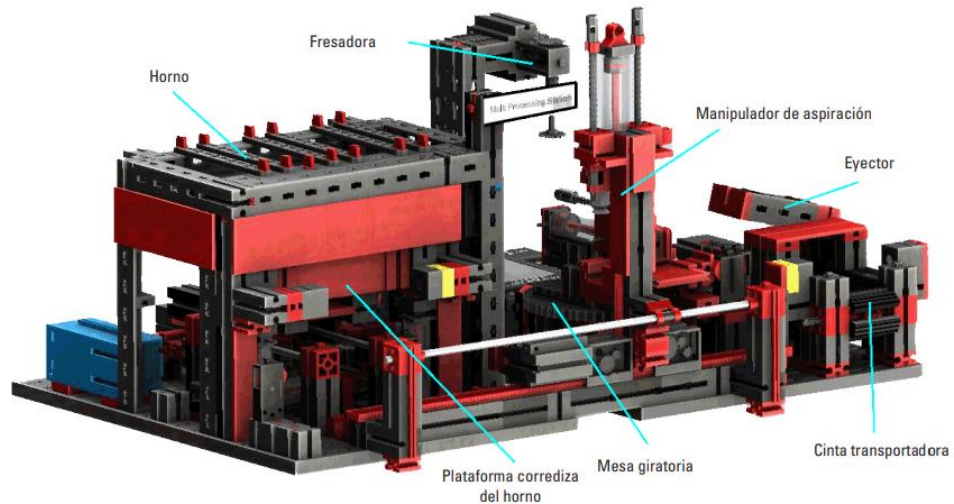


Figura 2. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con horno

- *Cinta de clasificación con reconocimiento de color* (Figura 3). La función de esta estación es la separación automatizada de piezas de trabajo según su color. Las piezas, iguales geoméricamente, pero de diferentes colores, se conducen por una cinta hacia un sensor de color y luego se clasifican en función de cuál sea este. La pieza es expulsada por un cilindro neumático y el reconocimiento por un sensor óptico, que debe estar protegido de la luz para poder reflejar sobre la superficie de la pieza.

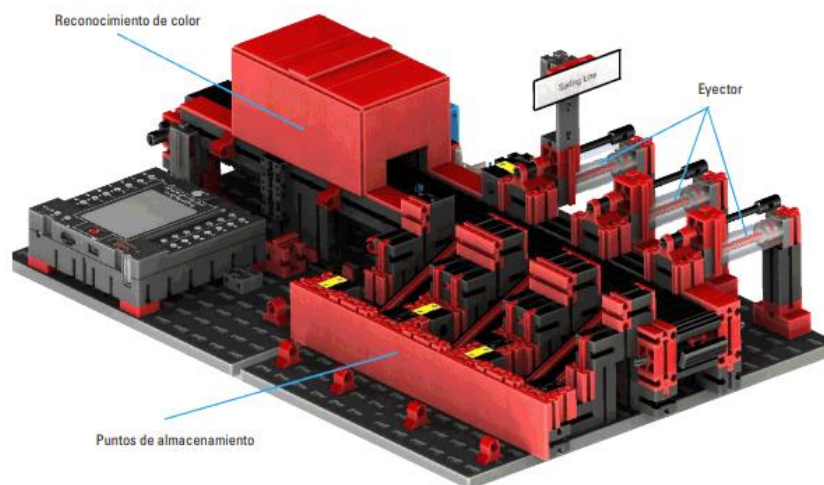


Figura 3. Ilustración de la cinta de clasificación con reconocimiento de color.

- *Estación ambiental con cámara de control* (Figura 4). Esta estación se utiliza para registrar valores de medición dentro de la zona de fabricación. La estación con cámara se monta en la estación de multiprocesamiento y controla las condiciones de toda la instalación. El sensor ambiental es capaz de medir la temperatura, la humedad, la presión y la calidad del aire.

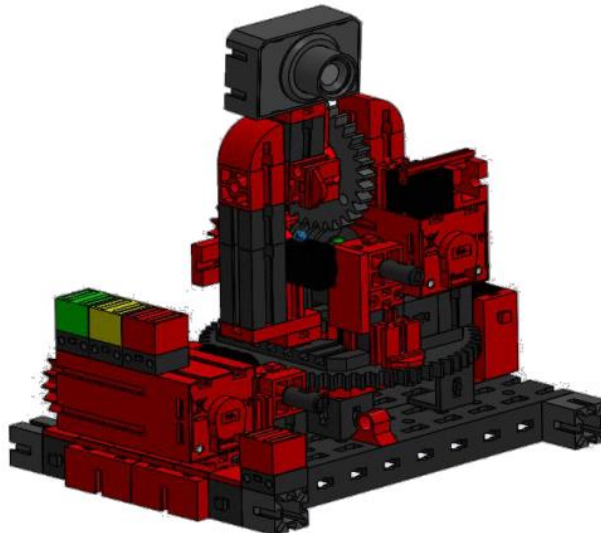


Figura 4. Ilustración de la estación ambiental con cámara de control.

- La unión de la estación de multiprocesamiento y la estación ambiental con cámara de control da lugar a la *estación de multiprocesamiento con cámara de control* (Figura 5). La cámara de control se coloca en la parte superior de la estación, permitiendo controlar toda la instalación. La cámara tiene un indicador con una luz roja que indica cuándo se están registrando imágenes.

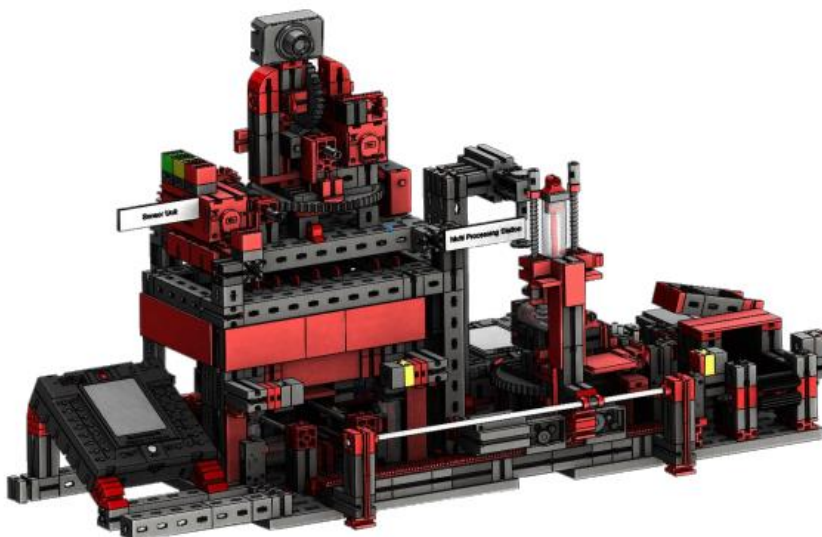


Figura 5. Ilustración de la estación de multiprocesamiento con cámara de control

Antes de comenzar con el taller, vamos a hacer un repaso al funcionamiento básico de la fábrica de enseñanza de Fischertechnik. La base del funcionamiento de la fábrica de aprendizaje es el trabajo de forma automatizada.

El manipulador de aspiración al vacío equipa el transelevador con piezas de trabajo. Este almacena las piezas de trabajo en la estantería elevada, ordenadas por color. Por último, las piezas de trabajo son transportadas hasta la estación de multiprocesamiento y allí son procesadas. A continuación, las piezas de trabajo procesadas son ordenadas por color en la cinta de clasificación y transportadas a los puntos de almacenamiento. Desde allí, las piezas de trabajo son transportadas nuevamente por el manipulador de aspiración al vacío hacia la estantería elevada. Este es un ciclo sin fin que se repite.

Una vez repasado el funcionamiento básico de la fábrica en el que nos vamos a basar, te recomiendo, aunque no es necesario, volver a visualizar el siguiente vídeo:

❖ Vídeo: ‘Fabrik simulation’, de Fischertechnik

Para valorar los conocimientos sobre la fábrica Fischertechnik, se realizará un pequeño cuestionario de autoevaluación (Anexo 9) sobre su funcionamiento, que encontrarás en el Campus Virtual. Ten en cuenta esta actividad tiene una fecha límite indicada en Moodle.

Una vez repasados los elementos que conforman la fábrica de trabajo, comenzaremos a introducir el proceso de realización de pedidos de mercancías y su recepción en el almacén. Para ello, siempre nos basaremos en el material didáctico proporcionado por el propio fabricante.

Para simular un proceso de pedido de mercancía, en primer lugar, se deberá abrir el panel de control de la fábrica (Figura 6).

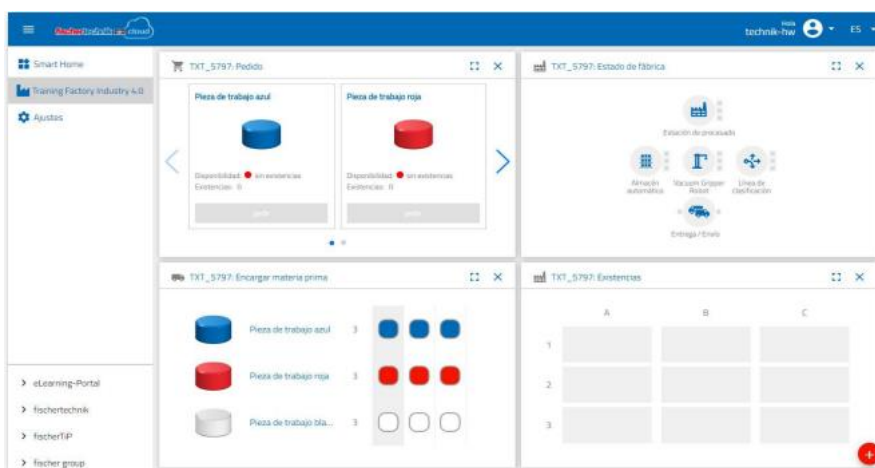


Figura 6. Ilustración del panel de control de la fábrica

Una vez abierto el panel de control, miraremos en la ventana de solicitud de materia prima (Figura 7) qué materia prima falta y debe ser encargada.



Figura 7. Ilustración de la ventana de solicitud de materia prima en el panel de control

Con las necesidades de materia prima que tengamos, abriremos la ventana de pedidos (Figura 8). Esta muestra cuánta materia prima (azul, rojo, blanco) hay disponible en el almacenamiento. Si, por ejemplo, se coloca una pieza de trabajo roja en la estantería, se modifica el indicador de color y el valor del inventario.



Figura 8. Ilustración de la ventana de pedidos en el panel de control

El almacén con techo alto pone a disposición un contenedor vacío para recibir la materia prima. Para ello, el brazo mecánico se dirige a la posición del contenedor vacío, lo toma con su corredera y lo coloca en el dispositivo de entrada y salida. El transportador es transportado mediante el dispositivo de transporte a la posición de ingreso.

El brazo del manipulador de aspiración al vacío gira a la posición de depósito, desciende y coloca la materia prima en el contenedor que se encuentra preparado. El contenedor con la materia prima es transportado en el dispositivo de ingreso y salida hacia la posición de recogida del brazo mecánico del almacén con techo alto.

Aquí, el contenedor es recogido, transportado hacia el lugar de almacenamiento de la estantería elevada y allí es depositado. En la ventana del panel de control «Proceso productivo» se muestra cómo sigue el siguiente proceso de almacenamiento.

Los iconos de todos los módulos activos de la fábrica se iluminan en color verde cuando los módulos están en acción (Figura 9).



Figura 9. Ilustración de los módulos cuando están en acción

Tras estas actividades, tan solo quedará responder el cuestionario (Anexo 11) y la encuesta de reflexión (Anexo 12) que encontrarás en el Campus Virtual. En esta última te pido que valores distintos aspectos relacionados con la metodología, los contenidos, el material que te he facilitado y tu propio trabajo. Ten en cuenta que ambas actividades Moodle tienen una fecha límite.

Además de ayudarte a reflexionar, las encuestas de reflexión me permiten identificar problemas y oportunidades de mejora. Por este motivo, para animarte a participar, y también como agradecimiento, completar las encuestas tiene ‘premio’ en tu evaluación final.

4.3.2. Guion del taller nº2

Para la segunda sesión de taller en la fábrica de aprendizaje de Fischertechnik, se seguirán los pasos tal y como se describe en el [material didáctico](#) de ayuda que proporciona la marca.

Primero se procederá a comprobar que todo está en buen estado y se arrancará la fábrica siguiendo los pasos descritos en la sesión anterior.

Continuando la sesión anterior, se ve en la **ventana del panel de control** «Proceso productivo» cómo sigue el siguiente proceso de almacenamiento. Los iconos de todos los módulos activos de la fábrica se iluminan en color verde cuando los módulos están en acción.



Observa las siguientes ventanas del panel de control - TXT: Solicitud de materia prima, TXT: Inventario y TXT: Pedidos.

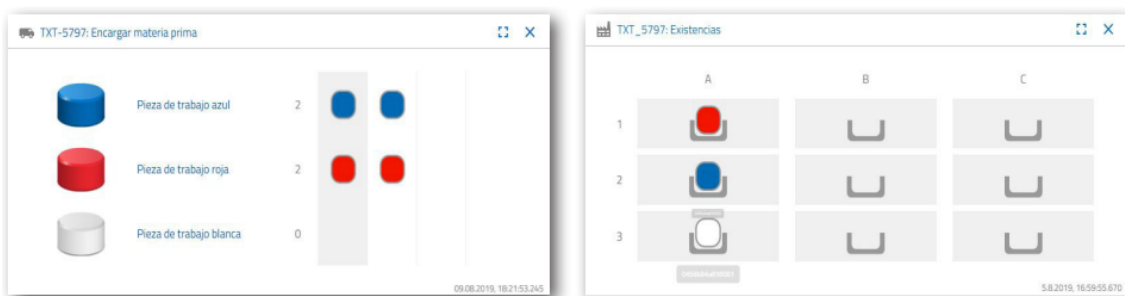
- **TXT: Solicitud de materia prima.** Para la solicitud de materias primas, dispones, como encargado del almacén, de tres piezas de trabajo por color. Después de que hayas depositado una pieza blanca en la tarea n.º 2, en la ventana del panel de control «TXT: Solicitud de materia prima», se reduce la cantidad máxima de piezas blancas en uno. De esta forma, dispones de dos piezas de trabajo para el almacenamiento.
- **TXT: Inventario.** En la ventana del panel de control «TXT: Inventario» se muestra ahora una pieza blanca en el sistema de almacenamiento. Es decir, ahora puedes, como cliente, solicitar esa pieza de trabajo y procesarla.
- **TXT: Pedidos.** En la ventana del panel de control «TXT: Pedidos» se muestra que una pieza blanca se encuentra en el almacén y que esta puede ser solicitada.

Tarea 3. Solicite la materia prima que deba almacenarse en el almacén con techo alto como aprovisionamiento. Para ello, almacene la materia prima de forma manual en la estación de ingreso. Almacene solo una pieza azul como pieza de trabajo.

Coloca, tal como se describe en la tarea n.º 2, una pieza azul en el almacén con techo alto. Una vez que se han realizado los trabajos de almacenamiento, el resultado se vuelve a mostrar en el panel de control.

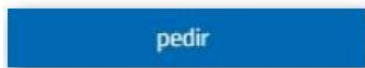


Tarea 4. Almacene otras materias primas en el almacén con techo alto como aprovisionamiento. Necesita dos piezas de trabajo blancas y una roja.

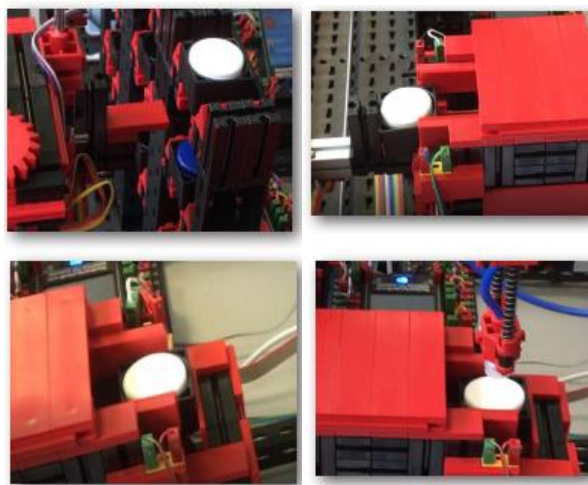


Tarea 5. Colóquese en la posición de un cliente que, por ejemplo, desea solicitar una pieza de trabajo blanca. Solicite una pieza de trabajo blanca.

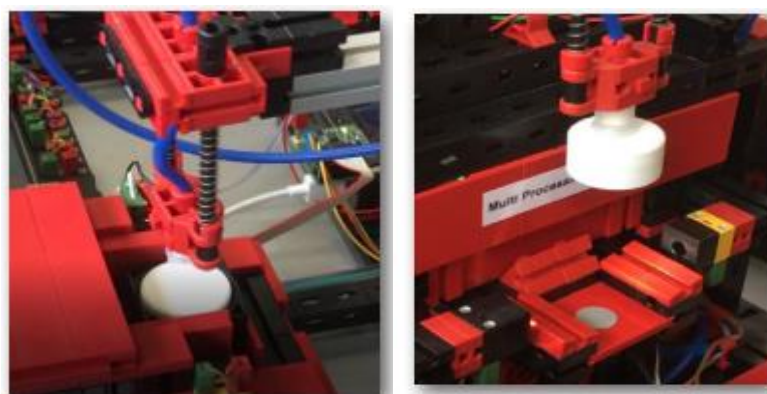
Para ello, activa el botón «Solicitar» en el panel de control «TXT: Pedidos» con el ratón.



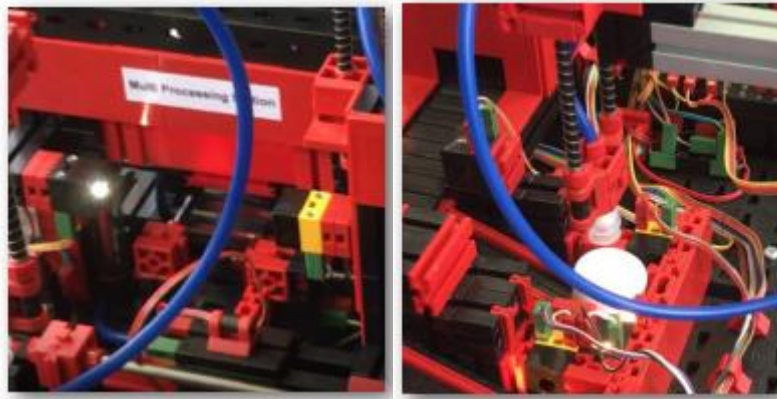
En la instalación de la fábrica sucede lo siguiente: El brazo de transporte del almacén con techo alto lleva una «pieza blanca» a la posición de depósito. La recoge y la coloca en la estación de ingreso y salida del almacén con techo alto. Allí es transportada hacia la posición de recogida del manipulador de aspiración al vacío.



El manipulador de aspiración al vacío toma la pieza de trabajo de la posición de recogida y la coloca en la corredera del horno. La pieza de trabajo es introducida, cocinada y vuelve a salir del horno.



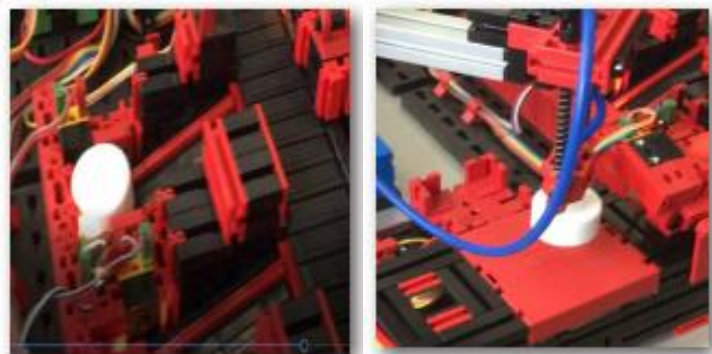
El pequeño carro de transporte que se encuentra preparado con la ventosa de agarre se encarga del transporte hacia la máquina de procesamiento, la «Fresadora».



Una vez realizado el proceso de fresado, la pieza de trabajo es girada 90 grados horizontalmente y deslizada de forma neumática a la cinta transportadora. En el camino al dispositivo de clasificación, la pieza de trabajo atraviesa un reconocimiento de color.



En función del color detectado, la pieza de trabajo se expulsa ante una rampa de material de manera neumática desde la cinta transportadora. La pieza de trabajo se encuentra en un área de recogida y, desde allí, puede continuar siendo transportada con el manipulador de aspiración al vacío.



Este coloca la pieza de trabajo en el lector NFC para la rotulación final. Allí, la pieza es rotulada con datos relevantes para la pieza, como por ejemplo la fecha de pedido, los datos de fabricación y de entrega.

Por último, la pieza de trabajo es colocada en la bandeja de salida de la estación de ingreso y salida.



Podrás dar seguimiento a los pasos de trabajo en el **panel de control**. La materia prima se recoge del almacén con techo alto y se dirige al procesamiento. La materia prima es procesada en la estación de multiprocesamiento (horno, fresadora).



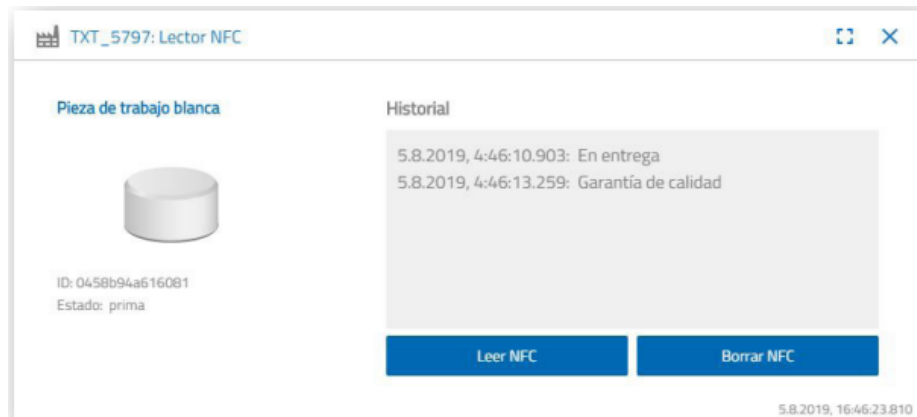
La pieza de trabajo procesada se clasifica según el color y se le asignan los datos relevantes para la pieza a través del lector NFC. La pieza de trabajo está lista para la entrega y puede ser retirada de la instalación.



Tarea 6. Por error, una pieza blanca se cayó de la estantería elevada y usted desea saber qué datos se escribieron en la etiqueta NFC.

Para ello, la instalación debe estar en **estado de reposo**. Coloca la pieza de trabajo en el lector NFC y activa el botón «Leer NFC» en la ventana del panel de control «TXT: Lector NFC».

El lector NFC lee los datos y los muestra en la ventana del panel de control. Mediante el botón «Eliminar NFC», usted puede, dado el caso, eliminar los datos.



4.3.3. Cuestionario de autoevaluación sobre el funcionamiento de la fábrica

Este es un breve cuestionario con preguntas sencillas sobre el funcionamiento de la fábrica de aprendizaje Fischertechnik que te ayudará a entender mejor la materia que veremos posteriormente.

1. La cinta de clasificación con reconocimiento de color se emplea para almacenar y retirar mercancías.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
- 2.Cuál de los siguientes componentes NO es una estación de trabajo de la fábrica Fischertechnik.
 - a) Manipulador de aspiración al vacío
 - b) Sensor ambiental
 - c) Estación de multiprocesamiento con horno
 - d) Estación de montaje de piezas
3. Seleccione las áreas de trabajo de los que se compone la estación de ingreso/salida con reconocimiento de color y lector NFC:
 - a) Unidad de ingreso/salida
 - b) Reconocimiento de color
 - c) Lector NFC
 - d) Estación de calibración
 - e) Todas las anteriores son correctas
 - f) Ninguna de las anteriores es correcta
4. La estación ambiental con cámara de control sirve para el registro de valores de medición dentro de la fábrica
 - a) Verdadero
 - b) Falso

5. La cinta de clasificación clasifica las piezas en función de...
 - a) ...su color
 - b) ...su forma
 - c) ...su peso
6. La estación de multiprocesamiento está formada por la unión de...
 - a) ...cámara de control y sensor ambiental
 - b) ...estación de multiprocesamiento y cámara de control
 - c) ...estación de ingreso/salida y manipulador de aspiración al vacío
 - d) ...sensor ambiental y manipulador de aspiración al vacío
7. El sensor ambiental y la fotorresistencia se encuentran en el módulo de las estanterías elevadas. Ambos están conectados con el controlador, que también maneja la cámara.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
8. En la estación de ingreso/salida con reconocimiento de color...
 - a) ...el color se reconoce previamente a ser procesada la pieza
 - b) ...el color se reconoce tras procesar la pieza
 - c) ...el color se reconoce y la pieza es procesada en otra estación
 - d) ...únicamente se reconoce el color si lo solicita el operador
9. En la cámara de control de la estación de multiprocesamiento se ilumina un led rojo cuando la cámara está tomando imágenes.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
10. ¿Cómo se almacenan y retiran las mercancías de las estanterías del almacén con techo alto automatizado?
 - a) Mediante transelevadores que se mueven entre estanterías
 - b) Mediante un robot giratorio
 - c) Con el manipulador de aspiración al vacío
 - d) Ninguna de las anteriores es correcta
11. Señale el/los elemento/s que pertenecen a la estación de multiprocesado con horno:
 - a) Fresadora
 - b) Mesa giratoria
 - c) Cinta transportadora
 - d) Eyector
 - e) Todos los anteriores
12. La estación de calibración permite ajustar tanto movimientos delicados como bruscos de los ejes mediante la inclinación de la palanca de mando.
 - a) Verdadero
 - b) Falso

4.3.4. Cuestionario Socrative del taller nº2

- 1.Cuál de los siguientes componentes NO es una estación de trabajo de la fábrica Fischertechnik.
 - a) Manipulador de aspiración al vacío
 - b) Sensor ambiental
 - c) Estación de multiprocesamiento con horno
 - d) Estación de montaje de piezas
2. ¿Cómo se almacenan y retiran las mercancías de las estanterías del almacén con techo alto automatizado?
 - a) Mediante transelevadores que se mueven entre estanterías
 - b) Mediante un robot giratorio
 - c) Con el manipulador de aspiración al vacío
 - d) Ninguna de las anteriores es correcta
3. En la estación de ingreso/salida con reconocimiento de color...
 - a) ...el color se reconoce previamente a ser procesada la pieza
 - b) ...el color se reconoce tras procesar la pieza
 - c) ...el color se reconoce y la pieza es procesada en otra estación
 - d) ...únicamente se reconoce el color si lo solicita el operador
4. ¿Qué herramienta/s utiliza la fábrica Fischertechnik para tener todas sus estaciones de trabajo interconectadas?
 - a) NFC
 - b) Bluetooth
 - c) Conexión a internet
 - d) Ethernet
5. La ventana de estado de producción permite controlar dónde se encuentra la pieza de trabajo en todo momento.
 - a) Verdadero
 - b) Falso

4.3.5. Cuestionario final sobre el taller nº2

Este es un breve cuestionario con preguntas relacionadas con el contenido tratado en el segundo taller. Las respuestas correctas sumarán 1 punto mientras que las respuestas incorrectas restarán la mitad del valor de la pregunta. La nota obtenida determinará la calificación correspondiente a esta primera sesión de prácticas.

1. En el panel de control, la ventana de inventario permite visualizar cuánta materia prima hay almacenada en la estantería elevada.
 - a) Verdadero
 - b) Falso

2. Indica cuál de estas ventanas no aparece al desplegar el panel de control de la fábrica:
 - a) Solicitud de materia prima
 - b) Pedidos
 - c) Estación de calibración
 - d) Estado de la fábrica
3. ¿Qué acción se realiza antes en el proceso de pedido de materia prima?
 - a) Borrar todos los datos de la etiqueta NFC de la pieza
 - b) Almacenar la materia prima
 - c) Interrumpir la barrera fotoeléctrica de llegada
 - d) Ninguna de las anteriores
4. La ventana de solicitud de materia prima no indica la materia prima que falta en el almacén.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
5. Indica qué variable/s es capaz de medir el nuevo sensor ambiental y la fotorresistencia:
 - a) Humedad
 - b) Temperatura
 - c) Grado de oscuridad
 - d) Rugosidad
6. En la estación de ingreso/salida con reconocimiento de color, la estación de calibrado reconoce si hay una pieza de trabajo para el almacenamiento.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
7. ¿Qué herramienta/s utiliza la fábrica Fischertechnik para tener todas sus estaciones de trabajo interconectadas?
 - a) NFC
 - b) Bluetooth
 - c) Conexión a internet
 - d) Ethernet
8. La ventana de estado de producción permite controlar dónde se encuentra la pieza de trabajo en todo momento.
 - a) Verdadero
 - b) Falso
9. De camino al dispositivo de clasificación...
 - a) ...la pieza cambia de color
 - b) ...la pieza atraviesa un reconocimiento de color
 - c) ...el sensor ambiental toma mediciones de la humedad del ambiente
 - d) ...el manipulador por aspiración vuelve a su posición original
10. Antes de realizar un pedido, el almacén con techo alto pone a disposición un contenedor vacío para recibir materia prima.
 - a) Verdadero
 - b) Falso

4.3.6. Encuesta de reflexión sobre el taller nº2

En relación con los contenidos, marque una sola respuesta (1=más bajo, 5=más alto) ...

1. Con relación a la introducción del taller 2 de la fábrica de aprendizaje Fischertechnik, ¿cómo valorarías el nivel de comprensión que has alcanzado sobre su funcionamiento básico?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

2. ¿Existe algún contenido concreto que no te haya quedado suficientemente claro?

3. Respecto a los contenidos de estudio previo correspondientes a este primer taller, ¿qué grado de dificultad crees que tiene operar las estaciones de trabajo?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

También me gustaría conocer tu opinión sobre los materiales que te he facilitado para este taller como elementos de apoyo en tu proceso de aprendizaje. Por eso te pido valorar...

4. El mensaje inicial (contextualización, guía de acción, ...)
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

5. El vídeo sobre el funcionamiento de la estación de trabajo Fischertechnik.
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

6. El cuestionario de evaluación.
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

CAPÍTULO 4

7. Esta encuesta de reflexión.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

8. De forma breve, indícame lo que consideras más positivo de estos materiales y aquello en lo que crees que se debe seguir trabajando. Muchas gracias por tu colaboración.

Por último, te pido información sobre el trabajo que has realizado durante esta semana...

9. ¿Has participado activamente en el aula?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10. ¿Con qué grado de dedicación has estudiado el material?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

11. ¿Cuánto tiempo, en minutos, estimas que has tardado en realizar las tareas de esta semana?

12. Comentarios adicionales que nos puedan ayudar a adaptar el curso a tus necesidades formativas.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. Introducción

El objetivo que tiene el presente proyecto es analizar cómo se está afrontando actualmente la formación en torno a los gemelos digitales, donde la fábrica 'real' y la fábrica 'virtual' se retroalimentan a fin de mejorar la productividad y el mantenimiento. Por este motivo, se detalla la elaboración del TFG en cada una de las etapas que lo compone.

En este punto se va a exponer los aspectos fundamentales de la gestión de este proyecto, así como una descripción breve de las personas involucradas en su desarrollo y las horas dedicadas para elaborarlo por cada una de ellas.

Para cumplir el objeto del estudio, se va a considerar una empresa hipotética en la que se dispondrá del personal necesario para completar las tareas que necesita este proyecto. En primer lugar, se describen los puestos que ocupa cada uno de los involucrados y, a continuación, se divide en distintas fases todo el trabajo necesario.

Para terminar, después de definir los roles de los involucrados y las distintas fases de este proyecto, se calculan los costes asociados a la cantidad de horas dedicadas por cada integrante.

5.2. Profesionales que participan en el proyecto

Para elaborar un proyecto de este tipo, se necesitan una serie de trabajadores que se clasifican como muestra la Figura 28. En este caso, se ha considerado una empresa ficticia que cuenta con los trabajadores suficientes para cubrir los puestos que se necesita en el proyecto. La clasificación de los trabajadores necesarios es la siguiente:

- Director del proyecto. Es uno de los roles más desafiantes en cuanto a la organización, coordinación y habilidades que requiere. Su objetivo es el de coordinar a las personas que intervienen en el proyecto, planificar los eventos que suceden durante su desarrollo y controlar el presupuesto destinado a realizarlo (Herrera, Calahorra, & Cordero, 2017). Las competencias que debe tener un director de proyectos son el liderazgo técnico y del equipo, la comunicación efectiva, la negociación y la resolución de problemas en el momento.
- Ingeniero industrial. Persona que tiene experiencia previa en el campo que se va a centrar el proyecto y ha podido estar presente en la realización de otros de ámbito similar. Su función es la de documentar, redactar y corregir los distintos

apartados de los que se compone el proyecto. Trabajan de forma cercana al director del proyecto para estar en contacto en todo momento, realizar consultas e informar del avance de este.

- Auxiliar administrativo. Realiza las tareas que le encomienda el ingeniero industrial, y entre estas está la redacción y gestión documental, funciones burocráticas, comunicación con organismos públicos o la tramitación de contratos, alquileres, permisos y licencias que se necesitan para el proyecto.

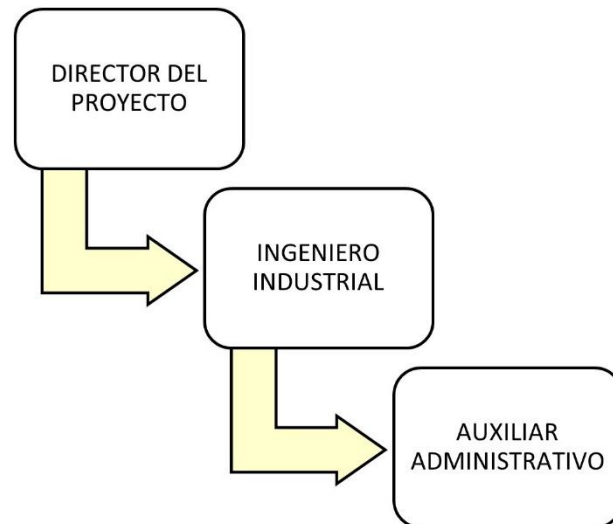


Figura 28. Organización de los profesionales que intervienen en el proyecto. Fuente: elaboración propia

5.3. Fases del proyecto

Las fases de las que se compone este proyecto, recogidas en la Figura 29 comienzan con la planificación detallada de todo el trabajo que se tiene que realizar en el proyecto. Es la fase más compleja y extensa ya que se necesita un gran esfuerzo para ver cuál son las necesidades del equipo, personal y de recursos para conseguir acabar el proyecto en la fecha acordada y cumpliendo todos los requisitos propuestos.

La siguiente fase es la que se centra en la búsqueda de la información que se va a tratar en el proyecto. Todos los datos, fuentes o referencias consultados que permitan aportar información útil en el proyecto y así, crear un marco de referencia que aporte un enfoque claro a los objetivos del estudio. Las principales fuentes que se pueden consultar son libros de texto, personas expertas en la materia o proyectos anteriores similares.

La tercera fase corresponde con el desarrollo del proyecto, donde se va a llevar a cabo el estudio de la aplicación de la simulación y los gemelos digitales en las factorías de aprendizaje. En ella se va a ir redactando el documento final, añadiendo todos los datos necesarios como por ejemplo tablas, figuras, referencias e imágenes. Una vez terminado el desarrollo del proyecto, el director del proyecto debe validarlo para continuar a la siguiente fase.

La última fase es la que involucra el seguimiento y el control del proyecto una vez acabado y puesto en marcha. Se encargará de controlar que el proyecto se desarrolla dentro de los parámetros acordados y no surgen problemas en su puesta en marcha.

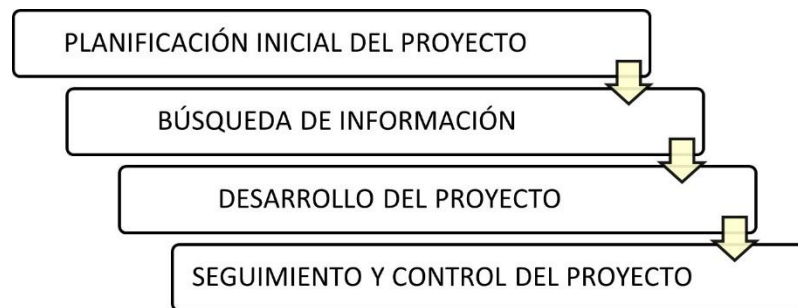


Figura 29. Fases del proyecto. Fuente: elaboración propia

5.4. Estudio económico

En este apartado se realiza una valoración del ámbito económico de todos los recursos que intervienen en el desarrollo del proyecto. Para ello se va a desagregar cada parte que compone el proyecto para analizar los costes detallados. En el análisis económico se tienen en cuenta las relaciones de los costes asociados a amortizaciones de equipos, personal, consumibles o distintos servicios del proyecto; de esta manera, es posible controlar lo que influye cada proceso que interviene en el proyecto.

A continuación, se van a calcular las horas efectivas anuales y las tasas horarias de personal, las amortizaciones de los equipos, los costes indirectos por hora y persona de los materiales y las horas que dedica cada persona en cada etapa.

5.4.1. Tasas horarias del personal y horas efectivas anuales

En este apartado, primero se calculan las horas y semanas efectivas del personal (Tabla 8 y Tabla 9) para, posteriormente, calcular el coste horario y semanal (Tabla 10) que supone el personal en este proyecto.

Tabla 8. Horas efectivas anuales. Fuente: elaboración propia

Concepto	Valor
Año medio (días)	365,25
Días fin de semana (365* 2/7)	-104,36
Días de vacaciones	-20
Días festivos reconocidos	-12
Media de días perdidos por enfermedad	-15
Días de formación	-4
Total de días efectivos	210
Total horas/año efectivas (8 horas/día)	1680

Tabla 9. Semanas efectivas anuales. Fuente: elaboración propia

Concepto	Valor
Año medio (semanas)	52
Periodo vacacional y festivo	-5
Enfermedad	-2
Formación	-1
Total semanas efectivas	44

Como se describió anteriormente, el proyecto cuenta con un director, un ingeniero industrial y un auxiliar administrativo. El director del proyecto coordina a las personas involucradas en él, planifica los eventos y controla el presupuesto para su desarrollo. El ingeniero industrial documenta, redacta y corrige los distintos apartados de los que se compone el proyecto. Y, por último, el auxiliar administrativo realiza la gestión documental y burocrática.

A partir de los salarios recogidos en las tablas salariales del Ministerio de Trabajo para el año 2021 (BOE, 2021) y del estudio de remuneraciones de directores de proyectos realizado por el *Project Management Institute* (PMI, 2020) a directores de proyectos de todo el mundo, se obtiene un salario aproximado por país, experiencia y sector al que se dedica

Tabla 10. Costes semanales y horarios del personal. Fuente: elaboración propia

Concepto	Director del proyecto	Ingeniero industrial	Auxiliar administrativo
Salario mensual	3000 €	1800 €	1200 €
Salario anual	42000 €	25200 €	16800 €
Seguridad Social (35%)	14700 €	8820 €	5880 €
Coste total	56700 €	34020 €	22680 €
Coste semanal	1288,64 €	773,18 €	515,45 €
Coste horario	33,75 €	20,25 €	13,5 €

5.4.2. Amortizaciones del equipo informático

En cuanto al equipo informático empleado para el proyecto, se tomará un periodo de amortización de 5 años, de forma lineal y sin valor residual. El equipo informático incluye también el software que se utiliza para desarrollar el proyecto. Con estos datos se obtiene la amortización anual y mensual de todo el equipo como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Amortización de los equipos informáticos. Fuente: elaboración propia

Concepto	Coste unitario	Unidades	Coste total
Hardware			
Ordenador Huawei MateBook X Pro Intel i7	1799 €	2	3598 €
Ratón Bluetooth Huawei	49,99 €	2	99,98 €
Impresora láser Epson Workforce AL-M320DN	429 €	1	429 €
Escáner Epson Workforce DS-530II	549 €	1	549 €
Software			
Paquete Microsoft 365 Premium	245 €	2	490 €
Antivirus McAfee Total	34,95 €	2	69,9 €
Total a amortizar			5235,88 €

Tipo	Periodo	Amortización
Anual	5 años	1047,18 €
Semanal	259,97	20,14 €
Diaria	1819,82 €	2,88 €
Horaria	14544,11	0,36 €

5.4.3. Costes del material consumible

El coste del material consumible necesario para elaborar el proyecto se detalla en la Tabla 12. El coste anual asociado a los consumibles que tiene por persona se consigue al sumar el coste de cada consumible. Para calcular el coste por hora y por persona hay que emplear el dato obtenido anteriormente en la Tabla 8.

Tabla 12. Coste del material consumible. Fuente: elaboración propia

Concepto	Coste
Recambios tóner de impresora	135 €
Papel DIN A4	60€
Memoria USB 128 gB	35 €
Servicios de reprografía	200 €
Coste total	430 €
Coste total por persona	143,33 €
Coste total horario por persona	0,085 €

5.4.4. Costes indirectos

Los costes indirectos asociados al proyecto hacen referencia a los consumos energéticos, como de electricidad o calefacción, el uso de la telefonía móvil o los alquileres de locales. El coste horario y por persona de estos costes se describe a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13. Costes indirectos. Fuente: elaboración propia

Concepto	Coste
Electricidad	400 €
Calefacción, agua	630 €
Teléfono móvil	350 €
Alquiler	3150 €
Otros	250 €
Coste total	4780 €
Coste total por persona	1593,3 €
Coste total horario por persona	0,95 €

5.4.5. Tiempo dedicado por el personal a cada fase del proyecto

A través de los resultados obtenidos con un estudio de tiempos en el presente proyecto y en otros de características similares, se calcula el tiempo que dedica el personal a cada fase de las que se compone el proyecto, como se muestra a continuación en la Tabla 14.

Tabla 14. Horas dedicadas por el personal en cada fase. Fuente: elaboración propia

Personal	Fase 1 (h)	Fase 2 (h)	Fase 3 (h)	Fase 4 (h)
Director del proyecto	22	20	25	30
Ingeniero industrial	13	30	95	35
Auxiliar administrativo	4	8	10	11
Horas totales por fase	39	58	130	76
Horas totales	303			
% fase / Total	12,87 %	19,14 %	42,9 %	25,09 %

5.5. Asignación de costes a cada fase del proyecto

Para poder asignar los costes correspondientes a los recursos en cada fase del proyecto hay que calcular los tiempos que se dedican por parte de cada uno de los trabajadores y emplear los costes obtenidos en el apartado anterior.

Es por eso por lo que la obtención del coste total de una fase del proyecto incorpora los costes horarios del personal, la amortización del equipo informático empleado, el coste del material consumible y los costes indirectos.

5.5.1. Costes de la fase I. Planificación inicial del proyecto

La primera etapa del proyecto es la planificación inicial, en la que intervienen las tres personas que componen el proyecto, el director del proyecto, el ingeniero industrial y el auxiliar administrativo. En la Tabla 15 se recogen los costes asociados a la primera fase del proyecto.

Tabla 15. Costes totales asociados a la fase I. Fuente: elaboración propia

Concepto		Horas	Coste/Hora	Coste
Personal	Director de proyecto	22	33,75 €/h	742,5 €
	Ingeniero industrial	13	20,25 €/h	263,25 €
	Auxiliar administrativo	4	13,5 €/h	54 €
Material	Varios	39	0,085 €/h	3,32 €
		Cantidad	Porcentaje	Coste
Amortización	Equipo informático	259,97	12,87 %	33,46 €
Coste indirecto	Varios	4780	12,87 %	615,18 €
Coste total de fase I				1711,71 €

5.5.2. Costes de la fase II. Búsqueda de información

La segunda etapa del proyecto es la búsqueda de la información necesaria para su desarrollo. En esta etapa vuelven a intervenir las tres personas que componen el proyecto, aunque es el ingeniero industrial el que mayor carga de trabajo va a llevar a cabo, apoyándose de manera puntual en el trabajo del director y del auxiliar administrativo. En la Tabla 16 se recogen los costes asociados a la segunda fase del proyecto.

Tabla 16. Costes totales asociados a la fase II. Fuente: elaboración propia

Concepto		Horas	Coste/Hora	Coste
Personal	Director de proyecto	20	33,75 €/h	675 €
	Ingeniero industrial	30	20,25 €/h	607,5 €
	Auxiliar administrativo	8	13,5 €/h	108 €
Material	Varios	58	0,085 €/h	4,93 €
		Cantidad	Porcentaje	Coste
Amortización	Equipo informático	259,97	19,14 %	49,76 €
Coste indirecto	Varios	4780	19,14 %	914,89 €
Coste total de fase I				2360,08 €

5.5.3. Costes de la fase III. Desarrollo del proyecto

La tercera etapa es el desarrollo del proyecto en sí. Requiere la participación de todas las personas y aumenta la carga de tiempo dedicado para desarrollarlo, ya que es la fase más extensa y de mayor dificultad. El ingeniero industrial seguirá teniendo la mayor carga de trabajo, aunque seguirá colaborando con el director y el auxiliar administrativo para su desarrollo. En la Tabla 17 se recogen los costes asociados a la segunda fase del proyecto.

Tabla 17. Costes totales asociados a la fase III. Fuente: elaboración propia

Concepto		Horas	Coste/Hora	Coste
Personal	Director de proyecto	25	33,75 €/h	843,75 €
	Ingeniero industrial	95	20,25 €/h	1923,75 €
	Auxiliar administrativo	10	13,5 €/h	135 €
Material	Varios	130	0,085 €/h	11,05 €
		Cantidad	Porcentaje	Coste
Amortización	Equipo informático	259,97	42,9 %	111,53 €
Coste indirecto	Varios	4780	42,9 %	2050,62 €
Coste total de fase I				5075,7 €

5.5.4. Costes de la fase IV. Seguimiento y control del proyecto

La cuarta y última etapa del proyecto es el seguimiento y control. En esta fase final se revisan y aprueban los documentos que sean necesarios para el proyecto. En esta etapa final el director del proyecto tiene mayor carga de trabajo que en las etapas anteriores. En la Tabla 18 se recogen los costes asociados a la segunda fase del proyecto.

Tabla 18. Costes totales asociados a la fase IV. Fuente: elaboración propia

Concepto		Horas	Coste/Hora	Coste
Personal	Director de proyecto	30	33,75 €/h	1012,5 €
	Ingeniero industrial	35	20,25 €/h	708,75 €
	Auxiliar administrativo	11	13,5 €/h	148,5 €
Material	Varios	76	0,085 €/h	6,46 €
		Cantidad	Porcentaje	Coste
Amortización	Equipo informático	259,97	25,09 %	65,23 €
Coste indirecto	Varios	4780	25,09 %	1199,3 €
Coste total de fase I				3140,74 €

5.6. Coste total del proyecto

El coste total del proyecto resulta de la suma de todos los costes de cada fase calculado en el apartado anterior. A continuación, en la Tabla 19, se muestra el desglose de costes correspondientes a cada fase y la suma total del proyecto.

Tabla 19. Desglose del coste total por fases. Fuente: elaboración propia

Fase	Horas	Coste
Fase I. Planificación inicial del proyecto	39	1711,71 €
Fase II. Búsqueda de información	58	2360,08 €
Fase III. Desarrollo del proyecto	130	5075,7 €
Fase IV. Seguimiento y control del proyecto	76	3140,74 €
Coste total del proyecto	303	12288,23 €

La suma total de horas necesarias para desarrollar el proyecto asciende a 303 horas, calculadas como la suma de horas necesarias para completar cada fase.

En la Figura 30 se muestra la distribución de costes por cada fase, mientras que en la Figura 31 se muestra la distribución del tiempo empleado en el proyecto por cada fase.

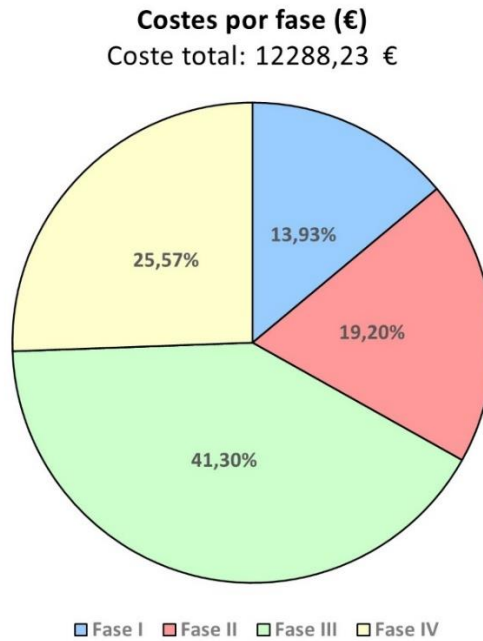


Figura 30. Distribución del coste total por fases. Fuente: elaboración propia

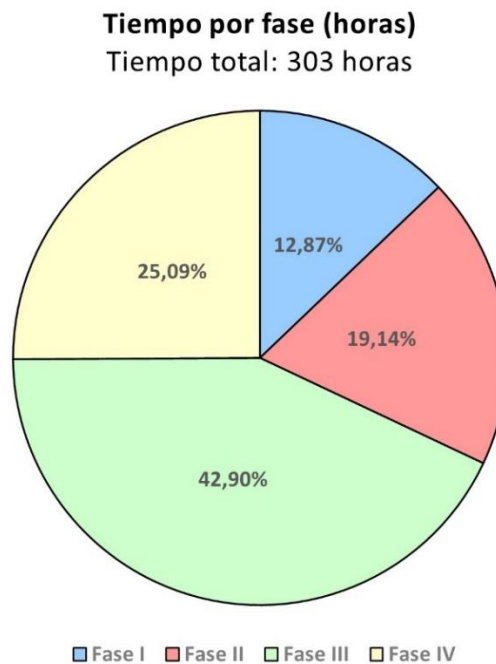


Figura 31. Distribución del tiempo total por fases del proyecto. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, los repartos tanto por tiempo como por coste son muy similares en ambos gráficos. La fase III de desarrollo del proyecto es la que más tiempo y coste aporta al proyecto, muy por encima de las otras tres fases.

En ambos también se demuestra que cerca de un 70% del proyecto se dedica al desarrollo del proyecto y a su seguimiento y control, siendo estas las dos etapas más importantes.

Otra forma de representar la distribución del coste total del proyecto es con los costes por categorías que intervienen, como son el personal, material consumible, amortizaciones y costes indirectos (Figura 32).

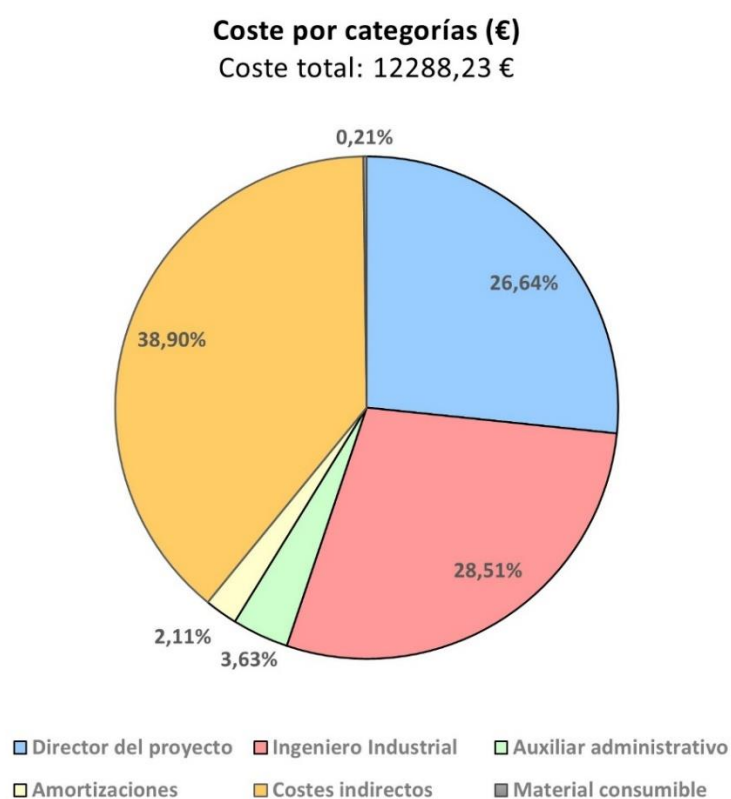


Figura 32. Distribución del coste total por categorías. Fuente: elaboración propia

Con la distribución del coste por categorías se comprueba como la mayor parte del coste procede de los salarios del director del proyecto y del ingeniero industrial. También tiene un gran peso en el coste total lo relacionados con los costes indirectos y de servicio necesarios para desarrollar el proyecto.

Por último, en la Tabla 20 se detalla el coste total final del proyecto al aplicar al coste anteriormente calculado, la tasa de impuestos del 21% de IVA y un margen de un 30% de beneficio para los responsables del proyecto. Aplicándolo, se obtiene un coste final de 19329,38 €.

Tabla 20. Coste final del proyecto con impuestos y beneficios. Fuente: elaboración propia

COSTE TOTAL		12288,23 €
Beneficio	30 %	3686,47 €
I. V. A	21%	3354,69 €
COSTE FINAL DEL PROYECTO		19329,38 €

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Para terminar el trabajo, se describen en este capítulo las conclusiones extraídas tras su realización. Primero, se describen aquellas que se relacionan con el concepto de la fábrica de aprendizaje, su funcionamiento y el crecimiento en cuanto a la implantación de estas. También se valora el impacto que tienen en los alumnos y su formación de cara al mercado laboral.

Por último, se proporciona una serie de líneas para una futura actuación, desde la continuación de los talleres propuestos aplicables al entorno de la Universidad de Valladolid; hasta el futuro que les espera a las fábricas de aprendizaje en los próximos años.

Conclusiones

Con la rapidez que los cambios tecnológicos que han ido aconteciendo en las últimas dos décadas, hemos visto como el sistema de enseñanza a penas a variado con respecto al utilizado en generaciones anteriores. Es por eso por lo que cobra una mayor importancia la aparición de las fábricas de aprendizaje, para adaptar ese proceso de adquisición de conocimientos a las necesidades actuales.

La importancia de las fábricas de aprendizaje ha crecido con el paso de los años, hasta llegar al punto actual donde las propias empresas las utilizan para formar a alumnos que posteriormente acaban uniéndose a la plantilla.

Buena parte de la rápida evolución en los últimos años de las fábricas de aprendizaje se debe al gran avance que han sufrido las herramientas y tecnologías de procesamientos de datos en las cuales basan su funcionamiento.

Uno de los principales problemas en la incorporación de estudiantes recién titulados al mercado laboral es la falta de experiencia. Con las fábricas de aprendizaje aplicadas a la formación, este es uno de los principales aspectos que mejoran notablemente, permitiendo a los alumnos adquirir unos conocimientos y habilidades que aplicarán directamente en el futuro puesto de trabajo.

Aunque las fábricas de aprendizaje no solo están cobrando mayor importancia por ayudar a las empresas a formar estudiantes para futuros puestos de trabajo; si no que, en la actualidad, este fin enfocado al conocimiento ha pasado un poco a segundo plano para centrarse más en conceptos como la habilidad de liderazgo, la capacidad de realizar

trabajo autónomo, el trabajo en equipo, ..., en definitiva, hacia la mejora de las habilidades blandas (*soft skills*).

El trabajo ha sido un proyecto vivo, que ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. Comenzó centrándose en el estudio de la simulación y los gemelos digitales dentro de las fábricas de aprendizaje; y terminó reorientándose hacia la creación de talleres en una fábrica de aprendizaje basados en un modelo físico que puedan ser aplicados en el entorno educativo de la Universidad de Valladolid. Todo este proceso de evolución ha ayudado a obtener una idea más completa acerca de todo lo que conllevan las fábricas de aprendizaje.

La fábrica de enseñanza basada en la Industria 4.0 de Fischertechnik, supone una clara apuesta por la enseñanza del futuro por parte de la Universidad de Valladolid. Ser capaz de avanzar de la enseñanza tradicional hacia unos métodos más innovadores y eficientes; también se verá reflejado en la motivación de los alumnos a la hora de acudir a los centros de formación.

La enseñanza acerca del funcionamiento de las fábricas de aprendizaje y la adquisición de un modelo físico como en el caso de la Universidad de Valladolid, supone una gran mejora en cuanto a calidad que puede ayudar a los alumnos a salir más preparados hacia el mercado laboral.

Los talleres creados suponen un buen punto de partida para continuar desarrollando otras tecnologías habilitadoras de Industria 4.0 en el futuro. Los dos talleres que se han propuesto utilizan tecnologías como los servicios en la nube o la digitalización; pero su futuro desarrollo puede permitir incorporar otras como los gemelos digitales, el análisis de datos mediante *big data* o la inteligencia artificial.

Los primeros pasos seguidos con los talleres de la fábrica de aprendizaje han ido relacionados con la comprensión de su funcionamiento y la programación básica. Para alcanzar la meta e ir incorporando las tecnologías habilitadoras necesarias, se necesitará continuar en el futuro con el apoyo de la UVa y del PID para evitar que el proyecto se estanque.

A su vez, la fábrica de aprendizaje adquirida es una pieza fundamental para continuar con el desarrollo activo de las competencias *soft* de los estudiantes, como pueden ser el trabajo en equipo, la toma de decisiones en base a datos o las habilidades digitales.

Gracias al trabajo que se lleva a cabo en los talleres propuestos, las habilidades y los conocimientos de los estudiantes se entrenan y se potencian para poder desempeñar mejor las tareas futuras. Los perfiles demandados en la actualidad son muy diferentes de los que se demandaban en el pasado. El futuro desarrollo del *learning factory* de la UVa demandará a los estudiantes desarrollar las habilidades de comunicación y la capacidad de adaptación.

Otra gran ventaja de la creación de talleres basados en una fábrica de aprendizaje 4.0, es que se trata de un proyecto novedoso que, sin duda, si se continúa desarrollando en

los próximos años, será un gran reclamo para nuevos estudiantes y futuros proyectos que se puedan desarrollar en las instalaciones de la *learning factory* de la UVa.

El trabajo con las tecnologías habilitadores que se aplican en los talleres también favorece la implicación del personal del PID, proporcionándoles a ellos también una oportunidad de evolucionar profesionalmente y adaptarse a los métodos de enseñanza del futuro.

En cuanto a las fábricas de aprendizaje totalmente digitales y, en concreto, los gemelos digitales, aún necesita investigarse más para adaptar todas las tecnologías necesarias al entorno del aprendizaje. Hoy en día no hay gran cantidad de fábricas de aprendizaje totalmente digitales establecidas, pero, poco a poco, la evolución de las actuales se dirige en esa dirección.

España está incorporando lentamente más fábricas de aprendizaje para dar un salto de calidad en la formación de trabajadores y la investigación, pero todavía está lejos de países punteros como Alemania.

Debido al alto coste de implantación de este tipo de fábricas de aprendizaje, en el ámbito universitario únicamente suelen aparecer cuando son financiadas y apoyadas por alguna empresa con sede cercana a las universidades con la que tengan algún acuerdo de desarrollo y formación.

Con el desarrollo de este tipo de estaciones de trabajo claramente en ascenso, el trabajo de recopilación de información para este tipo de trabajos cada vez será más sencillo al aumentar la cantidad de datos disponibles de cada una de ellas. Además, en el futuro, el establecimiento de nuevas fábricas de aprendizaje será más sencillo debido a que cada vez son más empresas las que deciden adaptarse a los principios de la filosofía *Lean* o producción esbelta.

Líneas futuras

El enfoque de este trabajo se ha dirigido hacia la presentación de las fábricas de aprendizaje, dentro de las que encontramos los gemelos digitales; y hacia la creación de una serie de talleres prácticos en un modelo físico de fábrica 4.0 para la Universidad de Valladolid.

Ahora bien, como se ha explicado con anterioridad, las fábricas de aprendizaje totalmente digitales aún están en desarrollo y escasean, lo que dificulta continuar su investigación hasta que se produzcan más avances en este apartado. Por su parte, en cuanto a los talleres, se ha creado únicamente una introducción que permitirá continuarlo para desarrollar un programa de prácticas completo que se pueda aplicar en diferentes asignaturas.

Como posibles líneas de actuación futuras, se propone analizar las factorías de aprendizaje existentes por todo el mundo. Actualmente algunos de esos proyectos están

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

en fases prematuras o se les otorga poca visibilidad como para poder conocerlos en profundidad. Una creación de páginas web específicas para cada fábrica de aprendizaje facilitaría mucho futuras investigaciones sobre el tema.

También se podría estudiar si la implantación de factorías dedicadas a la enseñanza y la formación repercuten positivamente y cuánto lo hacen en la productividad de las empresas a largo plazo. La creación de un estudio de estas características puede ayudar a valorar si se cumplen realmente los objetivos para los que están creadas las distintas fábricas de aprendizaje.

Una tercera vía de actuación consistiría en investigar las herramientas y tecnologías más utilizadas por las factorías de aprendizaje. También explorar nuevos ámbitos en los que la implantación de estas factorías ayude a mejorarlas y hacerlas más eficientes.

Por supuesto, es totalmente necesario continuar con el desarrollo de talleres formativos basados en la factoría de aprendizaje física adquirida por la Universidad de Valladolid. Es un proyecto que acaba de comenzar y puede aportar una gran mejora educativa a futuros alumnos en su camino al mercado laboral.

El método de enseñanza utilizado en los talleres es el aprendizaje inverso (*flipped learning*). Es otra de las novedades en la enseñanza actual respecto de la tradicional que, de dar buenos resultados en estos proyectos, se puede extender a las demás asignaturas para solucionar de las carencias que tiene el sistema educativo actual.

Como la adquisición de estos equipos supone un gran desembolso económico, la creación de un plan de ayudas por parte de los gobiernos o autoridades supondría un gran paso para favorecer la implantación de nuevos proyectos en las universidades.

Otra forma de poder financiar estos proyectos sería con la colaboración de empresas o parques tecnológicos que utilicen las fábricas de aprendizaje como un lugar compartido de formación para nutrirse de trabajadores bien formados en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Aamer, N., Azhar, A., Nazir, U., & Li, Y.-F. (21 de Octubre de 2020). The rise of 3D Printing entangled with smart computer aided design during COVID-19 era. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.10.009>
- Abele, E., Bauerdick, C., Strobel, N., & Panten, N. (2016). ETA Learning Factory: A Holistic Concept for Teaching Energy Efficiency in Production. *Procedia CIRP*, *54*, 83-88. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.051>
- Abele, E., Metternich, J., & Tisch, M. (2019). *Learning Factories - Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Switzerland: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4>
- Alpaslan, K., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, *158*, 688-695. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- Amaral, A., & Peças, P. (Febrero de 2021). SMEs and Industry 4.0: Two case studies of digitalization for a smoother integration. *Computers in Industry*, *125*, 103333. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103333>
- Blume, S., Madanchi, N., Böhme, S., Posselt, G., Thiede, S., & Herrmann, C. (2015). Die Lernfabrik – Research-based Learning for Sustainable Production Engineering. *Procedia CIRP*, *32*, 126-131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.113>
- BOE. (2021). Convenio colectivo estatal. *Boletín Oficial del Estado*(108), 54404. Recuperado el 28 de Julio de 2021, de <https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/06/pdfs/BOE-A-2021-7526.pdf>
- Brenner, B., & Hummel, V. (2016). A Seamless Convergence of the Digital and Physical Factory Aiming in Personalized Product Emergence Process (PPEP) for Smart Products within ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen University. *Procedia CIRP*, *54*, 227-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.108>
- Chen, X., Liu, Q., Leng, J., Yan, D., Zhang, D., Wei, L., & Yu, A. (Enero de 2021). Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 52-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.012>
- de Paula, W., Armellini, F., & de Santa-Eulalia, L. A. (Noviembre de 2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, *149*, 60-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Di Bona, G., Cesarotti, V., Arcese, G., & Gallo, T. (2021). Implementation of Industry 4.0 technology: New opportunities and challenges for maintenance strategy. *Procedia Computer Science*, *180*, 424-429. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.258>

BIBLIOGRAFÍA

- Dogaru, L. (2020). The Main Goals of the Fourth Industrial Revolution. *Renewable Energy Perspectives. Procedia Manufacturing*, 46, 397-401. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.058>
- Enke, J., Metternich, J., Bentz, D., & Klaes, P.-J. (2018). Systematic learning factory improvement based on maturity level assessment. *Procedia Manufacturing*, 23, 51-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.160>
- Firu, A. C., Tapîrdea, A. I., Feier, A. I., & Draghici, G. (2021). Virtual reality in the automotive field in industry 4.0. *Materialstoday: PROCEEDINGS*, 45, 4177-4182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.037>
- Germán, A., Santos Dalenogare, L., & Ayala, N. F. (Abril de 2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. (15 de Junio de 2021). Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, In progress. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (Septiembre de 2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Harrison, J., Lin, Z., Carroll, G., & Carley, K. (2007). Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32(4), 1229-1245. doi:<https://doi.org/10.5465/amr.2007.26586485>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences* (págs. 3928-3937). Koloa, USA: IEEE. doi:<https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Herrera, R., Calahorra, M., & Cordero, J. (2017). Principales competencias que debe poseer un director de proyectos en la industria de la construcción. *Gaceta técnica*, 16(1), 117-127. doi:<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18946.89281>
- Hinings, B., Gegenhuber, T., & Greenwood, R. (Marzo de 2018). Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28(1), 52-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.004>
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L., & Young, T. (16 de Mayo de 2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), págs. 1-13. doi:European Journal of Operational Research

- Jain, S., Choong, N. F., Aye, K. M., & Luo, M. (2001). Virtual factory: an integrated approach to manufacturing systems modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 21, 594-608. doi:<https://doi.org/10.1108/01443570110390354>
- Kaisler, S., Armour, F., Espinosa, A., & Money, W. (2013). Big Data: Issues and Challenges Moving Forward. *46th Hawaii International Conference on System Sciences*. Wailea, USA: IEEE. doi:<https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.645>
- Kusiak, A. (17 de Enero de 2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56, 508-517. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Leng, J., Wang, D., Shen, W., Li, X., Liu, Q., & Chen, X. (Julio de 2021). Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 119-137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.011>
- Li, F., Yang, J., Wang, J., Li, S., & Zheng, L. (2019). Integration of digitization trends in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 31, 343-348. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.054>
- Liagkou, V., Salmas, D., & Stylios, C. (2019). Realizing Virtual Reality Learning Environment for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 79, 712-717. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.025>
- Mabkhot, M., Al-Ahmari, A., Salah, B., & Alkhalefah, H. (Junio de 2018). Requirements of the smart factory system: A survey and perspective. *Machines*, 6(2), 23. doi:<https://doi.org/10.3390/machines6020023>
- Matt, D., Rauch, E., & Dallasega, P. (2014). Mini-factory – a learning factory concept for students and small and. *Procedia CIRP*, 17, 178-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.057>
- Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J., & Frank, A. (Julio de 2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, In progress. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120784>
- Oberländer, A. M., Röglinger, M., & Rosemann, M. (Septiembre de 2021). Digital opportunities for incumbents – A resource-centric perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 30(3), En proceso. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsis.2021.101670>
- Peres, R. S., Rocha, A. D., Leitao, P., & Barata, J. (Octubre de 2018). IDARTS – Towards intelligent data analysis and real-time supervision for industry 4.0. *101*, 138-146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.07.004>

BIBLIOGRAFÍA

- PMI. (1 de Enero de 2020). *Project Management Institute*. Recuperado el 28 de Julio de 2021, de Earning Power: Project Management Salary Survey: <https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/pmi-salary-survey-11th-edition-report.pdf?v=b8dbbec0-0048-4b6d-99ca-389b36cad726>
- Sadik, A., & Urban, B. (Noviembre de 2017). An Ontology-Based Approach to Enable Knowledge Representation and Reasoning in Worker–Cobot Agile Manufacturing. *Future Internet*, 9(4), 90. doi:<https://doi.org/10.3390/fi9040090>
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Barcelona: Debate. Recuperado el 9 de Junio de 2021
- Seifert, R. W., Tancrez, J.-S., & Biçer, I. (Enero de 2016). Dynamic product portfolio management with life cycle considerations. *International Journal of Production Economics*, 171(1), 71-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.017>
- Shamsuzzoha, A., Ferreira, F., Azevedo, A., & Helo, P. (2017). Collaborative smart process monitoring within virtual factory environment: an implementation issue. *International J. Comput. Integr. Manufacturing*, 30(1), 167-181. doi:<https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1185156>
- Simons, S., Abé, P., & Naser, S. (2017). Learning in the AutFab - the fully automated Industrie 4.0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *7th Conference on Learning Factories*, 9, págs. 81-88. Darmstadt: Procedia Manufacturing. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>
- Spillanea, D., Menolda, J., & Parkinson, M. (2020). Broadening participation in learning factories through Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 45, 534-539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.074>
- Tao, F., Zhang, Y., Cheng, Y., Ren, J., Wang, D., Qi, Q., & Li, P. (1 de Diciembre de 2020). Digital twin and blockchain enhanced smart manufacturing service collaboration and management. *Journal of Manufacturing Systems*, 8-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.008>
- Tavçar, J., & Horváth, I. (2019). A Review of the Principles of Designing Smart Cyber-Physical Systems for Run-Time Adaptation: Learned Lessons and Open Issues. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 145-158. doi:<https://doi.org/10.1109/TSMC.2018.2814539>
- Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*, 9, 89-96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027>
- Trew, A. (Octubre de 2014). Spatial take off in the first industrial revolution. *Review of Economic Dynamics*, 17(4), 707-725. doi:<https://doi.org/10.1016/j.red.2014.01.002>

- Weininger, H. (2019). *Lernfabrik - Training Factory Industry 4.0*. Recuperado el 25 de Octubre de 2021
- Wells, L., Camelio, J., Williams, C., & White, J. (Abril de 2014). Cyber-physical security challenges in manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 2(2), 74-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.01.005>