

## **| The AM Workshop 4.0 Framework**



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



This work is licensed by the EXAM 4.0 Partnership under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

#### **EXAM 4.0 partners:**

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Da Vinci College, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, 10XL, and EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning.



"El apoyo de la Comisión Europea a la producción de esta publicación no constituye una aprobación de los contenidos, que reflejan únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella."

## ● Resumen

La Industria 4.0 plantea nuevas exigencias a los trabajadores, las nuevas tecnologías requieren soluciones innovadoras y, por tanto, trabajadores innovadores que puedan adaptarse a los cambios necesarios y aportar valor al sector industrial. Las nuevas exigencias a los trabajadores generan, a su vez, nuevos requisitos para la educación. Curt Nicolin Gymnasiet y los socios del consorcio EXAM 4.0 han llevado a cabo una investigación sobre los métodos para el desarrollo de la educación para la Industria 4.0, dentro del paquete de trabajo 4, debido a los nuevos requisitos. El paquete de trabajo 4, en EXAM 4.0, incluye definiciones de los requisitos que debe cumplir un centro de FP para poder proporcionar a los estudiantes las capacidades y competencias clave que son cruciales en el sector de la fabricación avanzada. Se incluyen modelos para describir las instituciones y los talleres, que han sido probados por todos los socios del consorcio. Los modelos y las descripciones pueden ser beneficiosos a la hora de definir nuevos talleres, diseñados para la fabricación avanzada de excelencia. El paquete de trabajo 4 también contiene información relativa a las tecnologías de fabricación avanzada relevantes, aspectos importantes de la Industria 4.0 y procesos de aprendizaje, como metodologías y contenidos de aprendizaje relativos a la educación de la Industria 4.0. Este informe, incluye información relativa a la enseñanza en la Industria 4.0 y a las responsabilidades de las personas que participan en el proceso. Todo el trabajo en estos paquetes también se utilizan para crear un marco de trabajo, que describe el proceso ideal para implementar cuando se crean nuevos talleres de FA 4.0.



## • Tabla de contenidos

Resumen	3
Tabla de contenidos	4
PT 4.4 Plantilla de tareas	5
Abreviaturas	6
Introducción	7
El marco del taller de fabricación avanzada 4.0	8
4.1 Industria 4.0	8
4.2 Características del marco del taller de FA 4.0	8
4.3 Número de tecnologías	13
4.4 Metodologías para el aprendizaje I4.0	14
4.5 Cómo enseñar la industria 4.0	16
4.6 Roles y responsabilidades	19
4.7 Definición de los nuevos talleres de EXAM 4.0	19
Referencias	23



## - PT 4.4 Plantilla de tareas

<b>Resultado</b>	<b>Número</b>	D4.4
	<b>Título</b>	El marco del taller de fabricación avanzada 4.0
	<b>Tipo</b>	Informe
	<b>Descripción</b>	Documento explicativo de conceptos (gráfico) y características de los diversos elementos que componen el Marco del Taller de FA 4.0. Organización del proceso de aprendizaje para su aprovechamiento. Número de tecnologías implicadas, tipo de equipamiento a disposición, conectividad, el enfoque de Aprendizaje Basado en retos como metodología ideal para esta experiencia. Funciones y responsabilidades de las personas implicadas. Recomendaciones sobre la planificación de la programación, la ejecución y el seguimiento. Ventajas, requisitos de formación inicial y experiencia, etc.
	<b>Fecha de vencimiento</b>	M07
	<b>Idioma(s)</b>	Inglés, Alemán, Sueco, Holandés y Español
	<b>Recurso(s)</b>	Electrónica
<b>Nivel de difusión</b>	Público	



## - Abreviaturas

IA= Inteligencia Artificial  
FA = Fabricación Avanzada  
RA = Realidad Aumentada  
CAD = Diseño asistido por ordenador  
CAM = Fabricación asistida por ordenador  
CoVE = Centros de Excelencia Profesional  
CPS = Sistema ciberfísico  
E = Entregable  
MEC = Marco Europeo de las Cualificaciones  
EXAM 4.0 = Excelente en Fabricación Avanzada 4.0  
I4.0 = Industria 4.0  
TIC = Tecnologías de la información y la comunicación  
IoT = Internet de las cosas  
IIoT = Internet de las cosas industrial  
TI = Tecnología de la información  
KETs = Tecnologías facilitadoras clave  
M2M = Comunicación Máquina a Máquina  
TO = Tecnología Operativa  
RFID = Identificación por Radiofrecuencia  
VET = Formación Profesional  
RV = Realidad Virtual  
PT = Paquete de Trabajo



## - **Introducción**

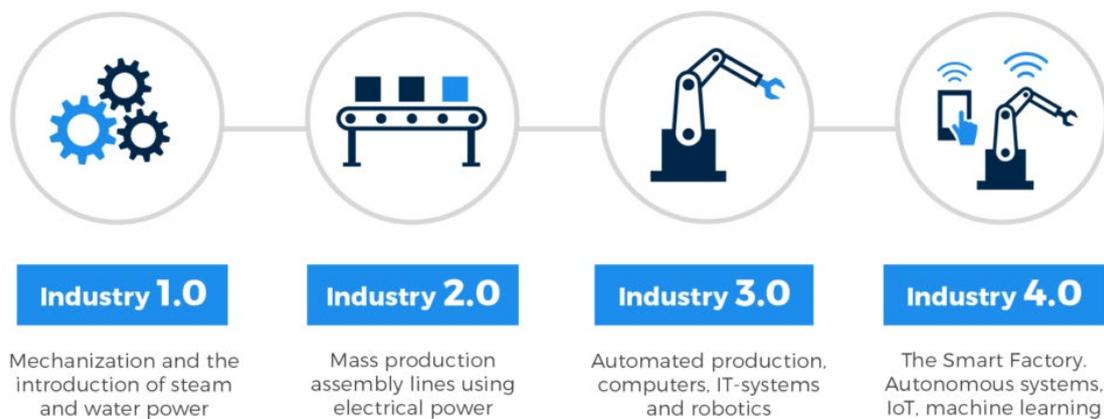
La cuarta sección del informe incluye: gráficos y características de los diversos elementos del marco del taller de FA 4.0., varios gráficos que ofrecen representaciones visuales de aspectos importantes de la Industria 4.0 y de las tecnologías implicadas, diferentes enfoques de aprendizaje, como el aprendizaje basado en retos, como una metodología ideal, información sobre la enseñanza en la Industria 4.0 y las funciones y responsabilidades de las personas implicadas. Esta sección también incluye recomendaciones sobre la planificación, la programación, la implementación y el seguimiento de los nuevos talleres de FA.



- **El marco del taller de Fabricación Avanzada 4.0**

**4.1. Industria 4.0**

**The Four Industrial Revolutions**



Actualmente nos encontramos en una transformación, la forma de producir está cambiando debido a la digitalización. Esta transformación recibe el nombre de Industria 4.0, o su acrónimo I4.0, y es la cuarta revolución industrial. La transformación amplía lo que se inició en la tercera revolución industrial. La informática, la automatización, la robótica se fusionan con nuevas tecnologías como los sistemas autónomos promovidos por el machine learning y los datos (Marr 2018). La interconectividad, la automatización, el aprendizaje automático y los datos en tiempo real son el foco clave de la Industria 4.0. La idea de I4.0 es fusionar la producción física con las tecnologías digitales inteligentes para crear ecosistemas bien conectados en relación con la fabricación y la gestión de la cadena de suministro (Epicor n.d).

**4.2 Características del marco del taller de FA 4.0**

Definir o caracterizar los talleres de FA para los centros de FP requiere un marco de referencia tecnológico que sintetice las principales características que está generando la transformación digital.



El marco de referencia se basa en las adaptaciones que se están llevando a cabo en las empresas, la forma en que las empresas relacionadas con la FA están integrando e implementando la transformación hacia las fábricas inteligentes.

Es importante recordar que estamos hablando de entornos de enseñanza y aprendizaje, donde la implementación de la tecnología está directamente asociada a las competencias que se trabajan y a los resultados de aprendizaje que se quieren conseguir.

Siguiendo los niveles y elementos ampliamente utilizados de la pirámide de la automatización mostrada en la figura 16 e incluyendo algunos otros elementos, podemos visualizar un sistema de aprendizaje construido siguiendo una arquitectura similar.

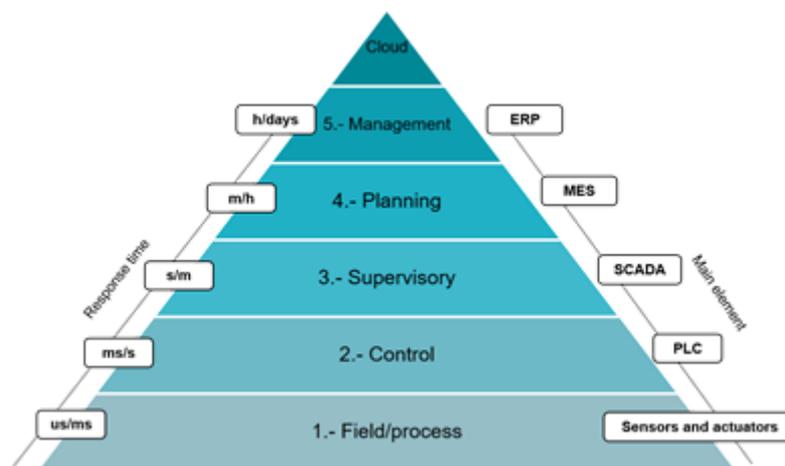


Figura 16 Pirámide de automatización (EXAM4.0)

En la figura 17 se muestra una representación simplificada de la estructura potencial de un taller para la formación de FP. Los talleres propuestos deberían estar digitalizados a un nivel representativo que permita aplicar las características digitales que potencialmente podrían estar operativas en las fábricas inteligentes. Siguiendo las capas típicas de una línea de producción automatizada, los talleres de FA propuestos para FP se configurarían en torno a un proceso de producción. Como esta arquitectura está diseñada con fines de aprendizaje, la configuración sería abierta, modular y flexible.

**Gráficos y características de los diversos elementos de la Industria 4.0 relevantes para el Taller de FA 4.0.**

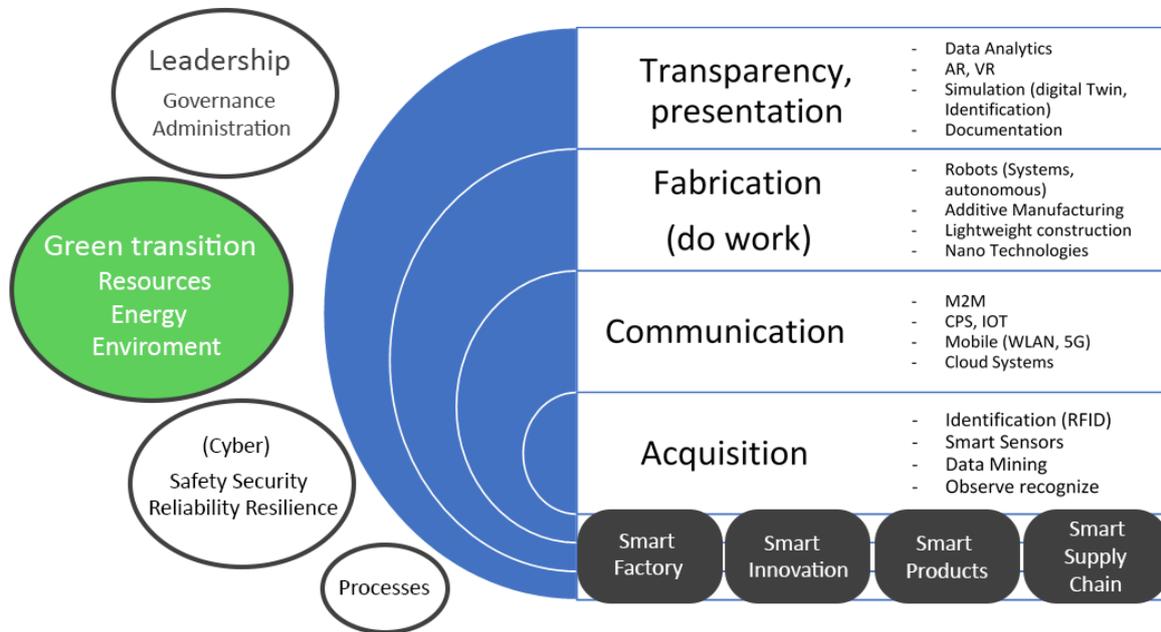


Figura 17 Configuración de un taller de FA para FP (EXAM 4.0)

El primer nivel de campo es el de adquisición. El segundo es el de comunicación, donde se implementarían diferentes protocolos y sistemas de comunicación, no sólo para enlazar y controlar todos los elementos del campo, sino también para comunicarse con diferentes máquinas y equipos. El tercero es el de fabricación, donde tiene lugar la producción. La configuración y disposición de las máquinas de producción, con fines de aprendizaje, aseguraría el flujo de trabajo de producción adecuado. Se implementaría tecnología complementaria: robots y cobots, fabricación aditiva, metrología de línea, trazabilidad, etc. El cuarto nivel es el de la presentación, el de la transparencia..

Obsérvese que esta representación es complementaria a la pirámide de automatización mostrada en la figura 16. Los talleres de FA para FP deben contener los niveles de control, sistemas scada, sistemas MES e incluso ERPs para enlazar los datos de los talleres con otras áreas digitalizadas de los centros de FP.

**Impulsar los modelos de negocio**

Otro aspecto relevante a considerar es el modelo de negocio que impulsa las actividades en la industria. En el PT2 describimos los principales impulsores que operarán en diferentes industrias. Las Soluciones Inteligentes, las Innovaciones Inteligentes, las Cadenas de Suministro Inteligentes y las Fábricas Inteligentes son campos en los que los fabricantes ven un enorme potencial mediante la digitalización de sus negocios. Mientras que las Soluciones e Innovaciones Inteligentes impulsan principalmente el crecimiento de la empresa, las Cadenas de Suministro y las Fábricas Inteligentes impulsan principalmente la eficiencia.

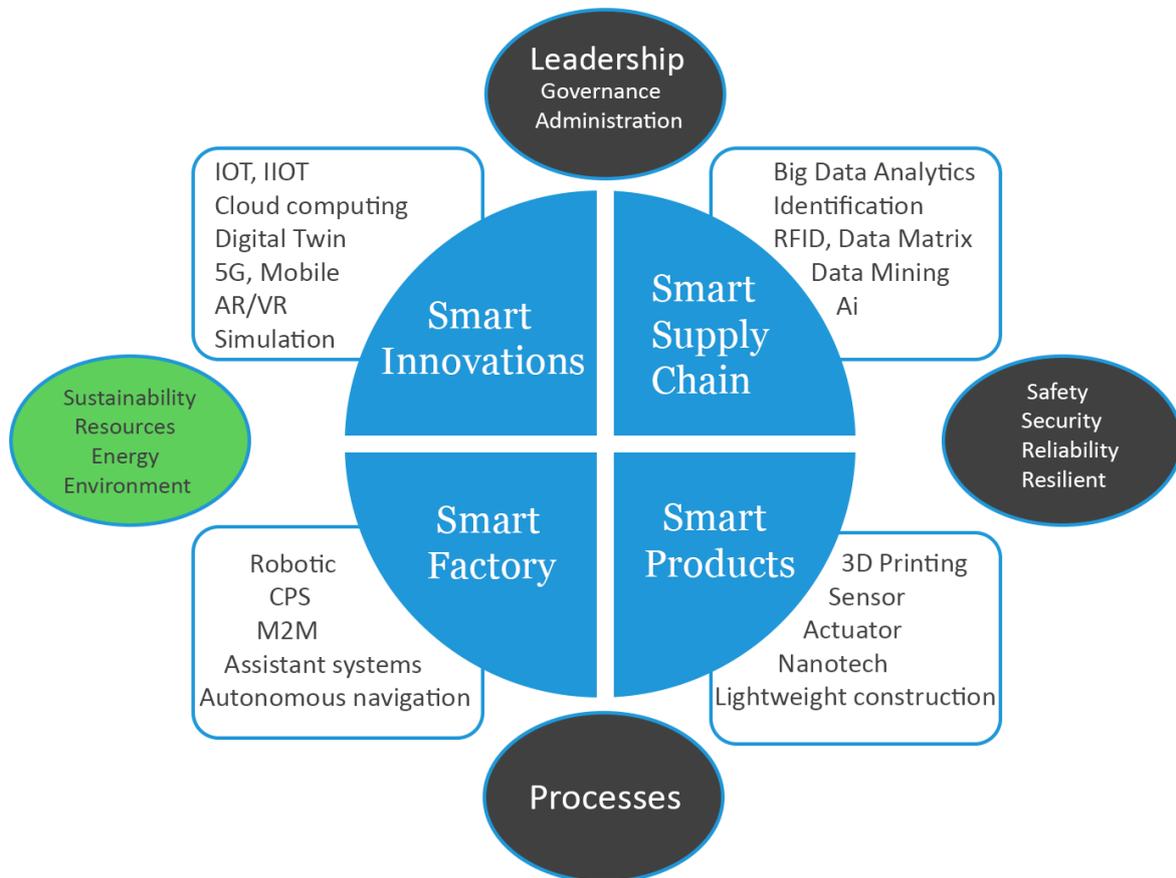


Figura 18 Principales habilitadores tecnológicos y elementos I4.0 que actúan en función del modelo de negocio impulsor (EXAM 4.0)  
Este modelo ofrece una imagen general de las tecnologías, métodos y elementos importantes para tener éxito en la I4.0.

En los siguientes párrafos se ofrecen detalles sobre los cuatro principales modelos de negocio:

**Fábrica inteligente:**

"La fábrica inteligente es un concepto para expresar el objetivo final de la digitalización en la fabricación" (Koo 2020).

El término Fábrica Inteligente se utiliza con mayor frecuencia en relación con las fábricas altamente digitalizadas. Estas fábricas recogen ininterrumpidamente datos de producción y comparten datos entre máquinas y dispositivos conectados. Los dispositivos utilizan los datos para auto optimizarse y la organización puede utilizarlos para solucionar problemas dentro de la fábrica con el fin de mejorar la



producción. En las fábricas inteligentes se utilizan numerosas tecnologías para que sean funcionales, por ejemplo, IA, análisis de grandes datos, computación en la nube e IIoT. (Koo 2020).

### **Cadena de suministro inteligente:**

La I4.0 incluye algo más que fábricas inteligentes e implementación de tecnologías, la logística 4.0 y la gestión inteligente de la cadena de suministro. La logística 4.0 y la gestión inteligente de la cadena de suministro se refieren a una variedad de características relativas a la logística de extremo a extremo y a la gestión de la cadena de suministro en la Industria 4.0, como el IoT, el CPS y el análisis avanzado de datos. (i-SCOOP n.d).

Las fábricas inteligentes utilizan tecnologías como los sensores implementados en los equipos que están conectados al IoT, junto con otras numerosas tecnologías avanzadas como los CPS, la analítica de datos, la robótica y la IA. Estas tecnologías desempeñan un papel fundamental en la gestión de las cadenas de suministro inteligentes.

La gestión inteligente de la cadena de suministro tiene numerosas ventajas, como la predicción de los cuellos de botella. La cadena de suministro puede auto organizarse y auto optimizarse gracias a los datos en tiempo real procedentes de los sensores de la fábrica. Los sistemas inteligentes utilizados en la gestión inteligente de la cadena de suministro pueden predecir futuros cuellos de botella y apoyar la implementación de la producción ajustada (Throughput 2019).

### **Productos inteligentes:**

Los conceptos de la Industria 4.0, como las fábricas inteligentes y las tecnologías de fabricación avanzadas, impulsan la innovación y el desarrollo que afectan tanto a los procesos como a los productos, lo que permite la creación de productos inteligentes. (Schmidt et al. 2015, citado en Nunes et al. 2017)

El concepto "Smart" no tiene una definición real, pero el término suele referirse a dispositivos que cooperan de forma independiente con otros dispositivos en una red y con sistemas integrados. Lleva a cabo acciones basadas en actualizaciones en tiempo real (Raji 1994, referenciado en Nunes et al. 2017). El desarrollo de productos y procesos inteligentes se centra en la cuarta revolución industrial, los desarrollos son impulsados por la transformación de las fábricas convencionales a las fábricas inteligentes (Radziwon 2014, referenciado en Nunes et al. 2017). Las fábricas inteligentes tienen la posibilidad de controlar la complejidad y mejorar la eficiencia de la producción. Una fábrica inteligente se define por su intercomunicación en redes con recursos humanos, máquinas y equipos como productos inteligentes (Kagermann 2013, referenciado en Nunes et al. 2017).

Los productos inteligentes son importantes para la fabricación I4.0, estos productos se implementan en todo el proceso de fabricación y lo apoyan constantemente y auto controlan partes particulares de la



producción de forma autónoma. Los productos inteligentes también están informados sobre los parámetros y el uso futuro de sí mismos y, por lo tanto, proporcionarán información de estado con respecto a sí mismos a lo largo de su ciclo de vida (Kagermann 2013, referenciado en Nunes et al. 2017). El objetivo principal de los productos inteligentes es su interacción con el entorno a través de la computación, el almacenamiento de datos y la comunicación. Los productos inteligentes pueden, a lo largo de su cadena de valor, dar información sobre su progreso, almacenar información sobre los pasos anteriores del proceso y proporcionar información sobre los futuros procesos de producción y mantenimiento. Los productos inteligentes también pueden interactuar con el entorno físico sin intervención humana (Schmidt et al. 2015, citado en Nunes et al. 2017).

### **Innovaciones inteligentes:**

La digitalización de la industria no solo transformará los procesos de creación de valor, sino que también dará lugar a nuevos modelos de negocio y nuevas innovaciones. Los procesos de producción inteligentes y digitales presentan grandes oportunidades para las empresas, especialmente para las PYME.

Los nuevos impulsos proceden de multitud de fuentes ajenas a la propia organización y deben integrarse de forma proactiva en un proceso de innovación abierto. Sin embargo, en una Industria 4.0 interconectada, las ideas son mucho más valiosas si se integran en una periferia igualmente innovadora de dispositivos o soluciones relacionadas. La innovación ampliada abarca la creación y distribución de ideas a través de las fronteras de la organización, mientras que la innovación conectada del ciclo de vida aprovecha los datos del ciclo de vida del producto como fuente de innovación.

La innovación ampliada requiere la apertura de los procesos de innovación en las empresas de fabricación a los socios y clientes externos. La comunicación y la conectividad permiten realizar actividades de innovación entre empresas. La innovación ampliada es un intercambio bidireccional, en el que la información entra y sale de la empresa. Mientras que los estímulos externos se introducen activamente en la empresa, ésta actúa como un centro para luego alimentar la red de socios y apoyar ampliamente la innovación y la generación de ideas.

La colaboración en el proceso de innovación, tanto con los clientes como con los socios, reducirá el tiempo de comercialización e impulsará la velocidad de la innovación hacia un flujo constante. Por último, las innovaciones serán más sostenibles al compartir la información en todo el ecosistema del fabricante. La innovación conectada del ciclo de vida se diferencia de la gestión "ordinaria" del ciclo de vida del producto en su enfoque holístico: la información relacionada con el producto se combina con otros datos relevantes, como los parámetros de la máquina o los datos de los pedidos de los clientes. A continuación, se analiza, se procesa y se utiliza para generar innovación, lo que permite la toma de decisiones de I+D basada en datos y la innovación de los procesos empresariales en toda la organización, por ejemplo, en los procesos de venta.

Al igual que la innovación ampliada, la innovación del ciclo de vida conectada conducirá a un aumento de la frecuencia de la innovación. Reducirá el tiempo de salida al mercado, lo que implica un potencial de crecimiento, así como una mayor eficiencia en las operaciones, con un menor coste de I+D.

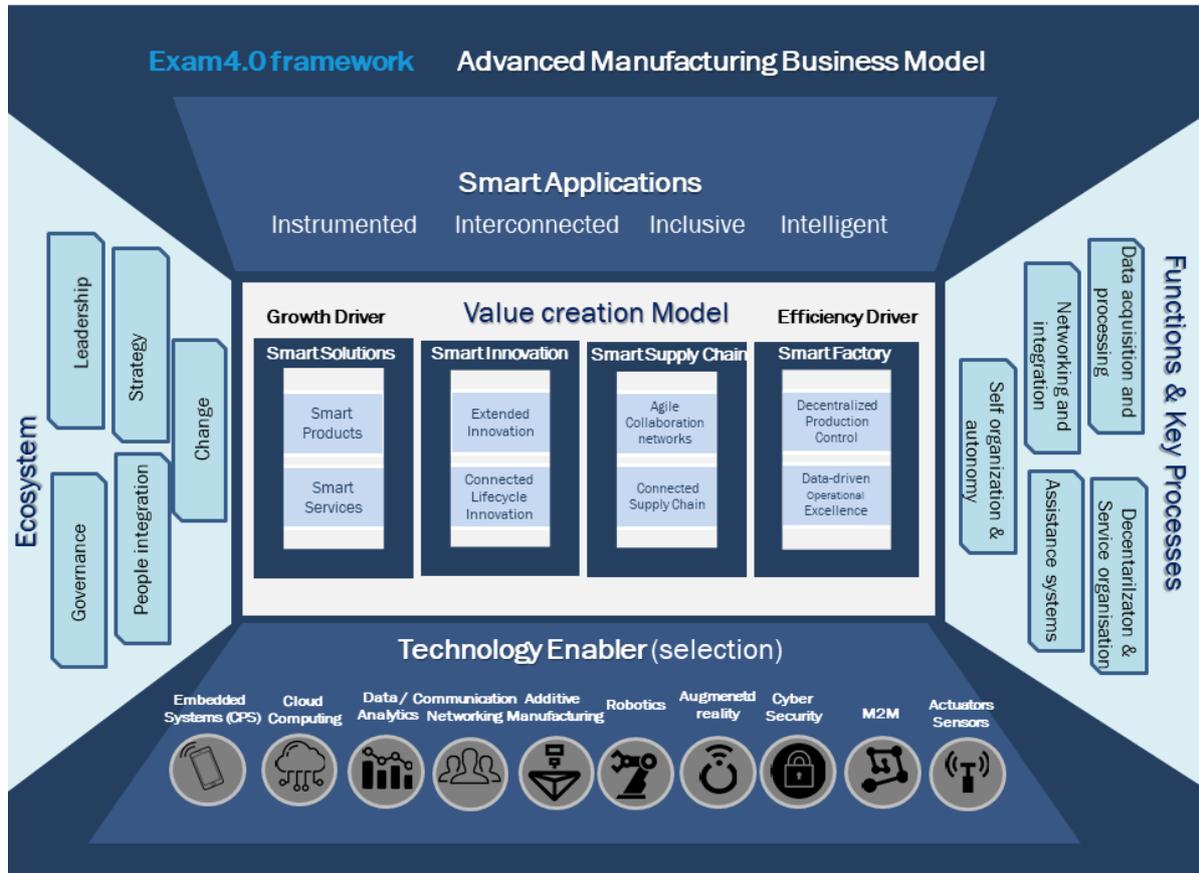


Figura 19 EXAM 4.0 Modelo de negocio de fabricación (EXAM 4.0)

Los talleres EXAM 4.0 deben estar de acuerdo con / o basarse en el marco de EXAM 4.0 y el marco de competencias de EXAM 4.0 escritos en el informe de investigación del PT 2.

El cuestionario semiestructurado realizado por los socios del consorcio puede utilizarse no sólo para describir los talleres existentes, sino también para describir los nuevos talleres EXAM 4.0.

### 4.3 Tecnologías

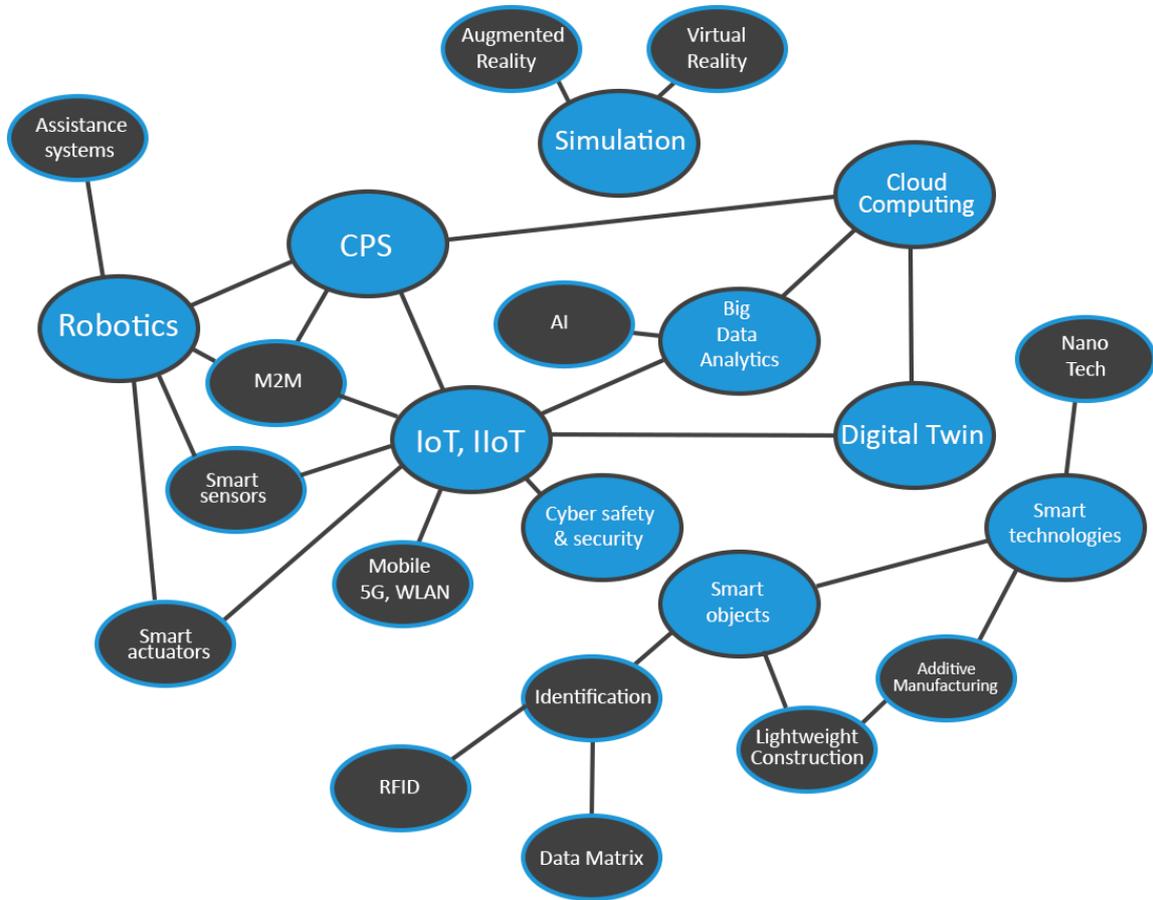


Figura 20 Gráficos de las tecnologías de fabricación avanzada (EXAM 4.0)

Las tecnologías relacionadas con las KTS / TFE y la Industria 4.0, la fabricación avanzada, se han descrito en la sección 2 de este documento. La figura 20 es una proyección gráfica de las tecnologías y las relaciones entre sí. El gráfico se basa en el PowerPoint "Marco EXAM 4.0, habilitadores tecnológicos" del PT2. Las elipses grises y azules representan capas de las diferentes tecnologías y la línea entre ellas muestra la relación entre estas tecnologías de forma fundamental.



## 4.4 Metodologías de aprendizaje I4.0

Una de las características de los Centros de Excelencia Profesional (CoVE) otorgadas por la Comisión Europea, es que adoptan enfoques de aprendizaje centrados en el alumno y en los métodos de aprendizaje activo.

En el contexto del EXAM 4.0, los métodos de aprendizaje activo se utilizan en entornos de enseñanza y aprendizaje I4.0. En consecuencia, se describen las metodologías de aprendizaje pertinentes y se ofrece más información al respecto:

- **Aprendizaje basado en problemas (PBL)**

El PBL es un método educativo utilizado para aprender conceptos y principios. Este método educativo es opuesto a la presentación directa de hechos y conceptos. En el PBL se aplican problemas complejos del mundo real para fomentar el aprendizaje de los alumnos. Además de determinadas capacidades y competencias en el programa educativo, el PBL puede respaldar la educación de las capacidades de resolución de problemas, las capacidades de comunicación y las de pensamiento crítico. El método de aprendizaje apoya, entre otras cosas, el aprendizaje permanente y el trabajo en equipo (Duch, Groh, Allen 2001, citado en University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

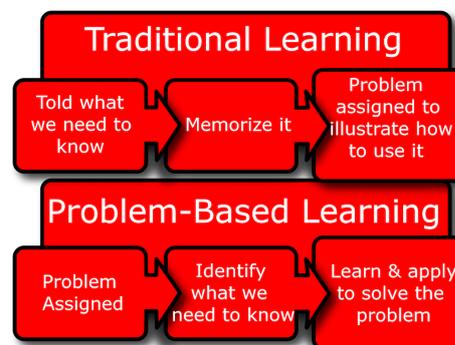


Figura 21 Aprendizaje basado en problemas (PBL) (Serhat 2020)

- **Aprendizaje basado en proyectos**

El aprendizaje basado en proyectos es un método educativo en el que los alumnos trabajan con proyectos, el método implica tareas del mundo real y significativas.

El proyecto se lleva a cabo en un periodo de tiempo específico, el calendario puede ser muy variado. El aprendizaje basado en proyectos involucra a los alumnos en la resolución de problemas del mundo real y preguntas complejas. Mientras los estudiantes trabajan con proyectos significativos indican sus niveles de habilidades y conocimientos.



Los alumnos mejoran los conocimientos de los contenidos, además, el pensamiento crítico, la colaboración, la creatividad y las habilidades de comunicación utilizando el aprendizaje basado en proyectos como enfoque educativo (Buck Institute for Education n.d).

Todas ellas son competencias vitales para trabajar en la I4.0.

- **Aprendizaje basado en retos (CBL)**

"El Aprendizaje Basado en Retos proporciona un marco eficiente y efectivo para aprender mientras se resuelven desafíos del mundo real" (The Challenge Institute 2018). El CBL es un método educativo con el propósito de enseñar a los estudiantes mientras resuelven retos del mundo real. El método fomenta la colaboración en muchos ámbitos, por ejemplo para identificar, investigar y resolver retos (The Challenge Institute 2018).

- **Aprendizaje experimental (Hands on learning)**

El significado del aprendizaje experimental es aprender a través de la experiencia, como su nombre indica (Cherry 2020). La definición de este método de aprendizaje puede explicarse, según el psicólogo David Kolb, como "el proceso por el que se crea conocimiento a través de la transformación de la experiencia. El conocimiento resulta de las combinaciones de captación y transformación de la experiencia" (Kolb 1984, referenciado en Cherry 2020).

En el aprendizaje experimental, el alumno necesita reflexionar sobre la experiencia para obtener nuevos conocimientos.



Figura 22 El ciclo de aprendizaje experimental (Growth Engineering 2017)

- **Aprendizaje por descubrimiento**

El aprendizaje por descubrimiento es un método educativo de instrucción basado en la indagación. El aprendizaje por descubrimiento tiene cinco principios principales. Estos son: 1. resolución de problemas 2. gestión del alumno 3. integración y conexión 4. análisis e interpretación de la información 5. fracaso y retroalimentación (Pappas 2014).



- **Enseñanza justo a tiempo (JITT)**

La enseñanza "justo a tiempo" consiste en un proceso de aprendizaje en dos pasos, que se utiliza para impartir educación cuando y donde es crucial. El primer paso de la JITT consiste en que los alumnos realicen actividades o tareas específicas fuera de la enseñanza. A continuación, el educador valida estas actividades para identificar en qué áreas deben mejorar los alumnos. La lección posterior se adaptará entonces a estas áreas para garantizar que los alumnos obtengan los conocimientos esenciales. (University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

- **Aprendizaje basado en juegos**

El aprendizaje basado en el juego es un método educativo que utiliza juegos. El método puede utilizarse en diferentes niveles educativos, desde la educación preescolar hasta el aprendizaje a lo largo de la vida. El aprendizaje basado en el juego es aplicable a diversos fines educativos, como la simple memorización o resultados de aprendizaje más complicados. En la formación con el aprendizaje basado en el juego se pueden utilizar juegos no digitales o digitales (Whitton 2012).

Cualquiera que sea el método utilizado, aunque la fuerza de la evidencia varía para los diferentes métodos, los métodos inductivos se encuentran consistentemente para ser al menos igual, y en general más eficaz que los métodos deductivos tradicionales para lograr una amplia gama de resultados de aprendizaje (Prince y Felder 2006).

Al abordar las metodologías que se utilizarán en los talleres de FA, es pertinente considerar un enfoque sistémico más amplio, teniendo en cuenta el entorno de aprendizaje en su totalidad. Vale la pena traer la sugerencia dada en el informe "Curriculum guidelines for AM (PwC 2020)".

El entorno de aprendizaje incluye los entornos que se crean durante el programa educativo o de formación.

El entorno de aprendizaje se refiere tanto a las cualidades del espacio (tanto físico como virtual) en el que se sitúan las actividades de aprendizaje como a otros aspectos intangibles que apoyan y mejoran las dimensiones sociales y emocionales del aprendizaje.

El entorno de aprendizaje puede organizarse de múltiples maneras, y debe derivarse de la estrategia y de los objetivos específicos/resultados de aprendizaje deseados.

Algunos ejemplos de objetivos son estimular la orientación multidisciplinar, el pensamiento de diseño, la creatividad, el espíritu de equipo, la resolución colectiva de problemas, el comportamiento de riesgo, los enfoques experimentales, etc. Puede requerir diferentes formas de realidad (es decir, física, virtual o mixta (aumentada)). Pueden utilizarse y combinarse múltiples tipos de metodologías para lograr los objetivos fijados, como el aprendizaje orientado a la resolución de problemas (o basado en problemas), el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en la experiencia (o experimental), el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje basado en la tecnología, etc. Los objetivos y las metodologías también definen las formas más adecuadas de organizar un entorno físico de aprendizaje, por ejemplo, en forma de fábrica de



aprendizaje/enseñanza, fábrica de diseño, laboratorio de aprendizaje, laboratorio vivo, centro de innovación, espacio de creación, etc.

## 4.5 Cómo enseñar la I4.0

Cada centro de FP y currículo debe investigar cómo se va a utilizar la Industria 4.0 en el futuro lugar de trabajo para sus graduados y certificar que el nivel de educación es relevante para que los estudiantes cumplan con los requisitos de la industria.

Según Matthew D. Kirchner los estudiantes necesitan adquirir conocimientos y experiencia dentro de los siguientes seis bloques de construcción (Kirchner 2017).

### **Bloque 1:**

La Industria 4.0 es una herramienta utilizable por las empresas para aumentar su competitividad.

Para que los estudiantes puedan utilizar esta herramienta y alcanzar las exigencias de la Industria 4.0 necesitan tener una base fundamental de conocimientos sobre las disciplinas que subyacen al éxito industrial.

Estas disciplinas incluyen:

- Una apreciación de la seguridad en el lugar de trabajo y de las prácticas laborales seguras.
- Comprensión de la ecuación básica de rendimiento y de la necesidad industrial básica de maximizar la eficiencia y la productividad.
- Comprensión de los siete desechos mortales y de cómo se manifiestan en la industria y en los procesos relacionados con ella.
- Familiarización con los sistemas de calidad normalizados de la industria.
- Capacidad para solucionar problemas en los procesos y equipos industriales.
- Habilidades industriales blandas, como la colaboración, la resolución de problemas, la disciplina y la gestión del tiempo.

### **Bloque 2:**

El bloque de construcción 2 se refiere al conocimiento de los equipos de producción y fabricación esenciales para la Industria 4.0. Estos equipos son, por ejemplo, la robótica industrial, la soldadura manual y robótica, la extrusión y el conformado.

### **Bloque 3:**

Los sensores y dispositivos inteligentes son la piedra angular de la Industria 4.0. Esta tecnología recoge inmensos volúmenes de información sobre su entorno, la inteligencia incorporada se utiliza para llevar a cabo las funciones programadas. Esto se hace antes de que la información sea compartida entre otros sistemas y dispositivos, compartidos a través de redes informáticas e Internet.



Paul Perkins, presidente del Consejo de Innovación de la Fuerza de Trabajo del Estado de Indiana y de la Asociación Nacional de Gobernadores de Presidentes de Juntas Estatales de Fuerza de Trabajo, dijo que "los conocimientos que obtienen los estudiantes deben ampliarse más allá de una simple comprensión de los tipos de sensores y dispositivos inteligentes" (Kirchner 2017).

**Bloque 4:**

El trabajo de fabricación propiamente dicho de mecanizado, conformación, moldeo y extrusión de materiales a los productos es operado por equipos y tecnología industrial. El proceso se supervisa mediante sensores y dispositivos inteligentes que proporcionan información. Estos sistemas sirven para controlar todo el proceso de fabricación en tiempo real.

Para que los estudiantes estén preparados para la Industria 4.0 deben conocer estos sistemas posteriores:

- Funcionamiento y programación de controladores lógicos programables (PLC)
- Funcionamiento y programación de PLC de seguridad
- Interfaces operador y hombre-máquina
- E/S distribuidas
- Accionamientos electrónicos y de frecuencia variable
- Control de motores y movimientos
- Electrónica de potencia y control

**Bloque 5:**

La Industria 4.0 hace que los equipos industriales estén más conectados a Internet. Las personas que pueden gestionar tanto la tecnología operativa (OT) como la tecnología de la información (IT) tienen grandes oportunidades para el futuro. Los estudiantes deben adquirir una mejor comprensión de las redes que transportan los datos de los dispositivos inteligentes. Para que los estudiantes adquieran una mejor comprensión de estas redes, necesitan aprender múltiples tecnologías, como servidores de red, servidores distribuidos, routers, conmutadores, dispositivos de pasarela. Ethernet, Foundation Fieldbus, Profibus, comunicación inalámbrica, tecnologías de enlace y aplicaciones multiusuario.

**Bloque 6:**

En los últimos dos años se han creado más datos que en los últimos 5.000 años de existencia humana. (Harris, 2016). Un reto para muchas empresas en la Industria 3.0 era la ausencia de datos. En la Industria 4.0 el reto es más bien la gestión de la cantidad de datos disponibles. Para la cuarta revolución industrial serán necesarias personas que posean los conocimientos necesarios para analizar los datos y proponer medidas basadas en ellos (Kirchner 2017).



Estos seis bloques se implementarán en las siete dimensiones de la educación para crear el proceso ideal de aprendizaje. Las siete dimensiones del aprendizaje se presentarán en consecuencia:

## 1 LL Live Lecture

*Figura 23 basada en Live Lecture (Kirchner 2017)*

## 2 EL eLearning

*Figura 24 basada en eLearning (Kirchner 2017)*

La segunda dimensión es el e Learning, también llamado aprendizaje en línea o aprendizaje electrónico, y se refiere a los sistemas de aprendizaje formativo a través de recursos electrónicos. El eLearning es, en la mayoría de los casos, accesible a través de Internet, por lo que ofrece materiales de aprendizaje accesibles casi en cualquier lugar y en cualquier momento.

## 3 ID Instructor Demonstration, 1:many

*Figura 25 basada en la demostración del instructor (Kirchner 2017)*

La tercera dimensión es la demostración del instructor. El término se refiere al método educativo en el que un instructor demuestra un determinado tema o tarea a un grupo de alumnos, en persona o en línea. El número de alumnos en este método es "numeroso", es decir, desde dos hasta un número infinito de alumnos.

## 4 VS Virtual Skill Development

*Figura 26 basada en el desarrollo de habilidades virtuales (Kirchner 2017)*

La cuarta dimensión es el desarrollo de habilidades virtuales, que se refiere a los elementos de formación física que se realizan virtualmente, a través de un software. A menudo se utiliza a través de juegos de ordenador o de la visualización, como la realidad virtual. Un ejemplo de área de desarrollo de habilidades virtuales podría ser el de los montadores. Pueden aprender a montar un producto a través de la RV antes de realizar la tarea en un lugar de trabajo real. Los alumnos pueden desarrollar una base de experiencia para utilizarla en un lugar de trabajo real y reducir los costes, ya que el alumno no necesita formarse con productos reales.

## 5 IIS Instructor Interactive skills, 1:1

*Figura 27 basada en las habilidades interactivas del instructor (Kirchner 2017)*

La quinta dimensión es la de las habilidades interactivas del instructor, IIS. Las IIS se llevan a cabo cuando un instructor educa a los estudiantes individualmente. Esta suele ser una forma eficaz de aprendizaje para los alumnos, ya que el alumno específico está centrado y tiene la oportunidad de avanzar sin la distracción



de otros alumnos. El instructor también puede adaptar el contenido educativo a las necesidades del alumno específico, lo que a menudo resulta en un aprendizaje más eficaz.

## 6 HO Hands-on skill development

*Figura 28 basada en el desarrollo de habilidades prácticas (Kirchner 2017)*

El desarrollo de habilidades prácticas, HO, es la sexta dimensión y una de las más importantes para el aprendizaje de métodos avanzados de fabricación. El desarrollo de habilidades prácticas es la educación práctica; con este método el estudiante puede aprender trabajando físicamente con diferentes máquinas o equipos.

## 7 PR Portable Rotational at-Home Skills

*Figura 29 basada en las habilidades portátiles de rotación en el hogar (Kirchner 2017)*

La última dimensión es la de Habilidades Portátiles Rotativas en Casa, es excelente para la formación a distancia. El equipo de información se envía a los alumnos para que realicen tareas específicas. Después de los estudios, el equipo se devuelve a la organización de aprendizaje. A continuación, se envían nuevos equipos y tareas al alumno.

*Cómo enseñar la Industria 4.0 en 2020 (LAB Midwest 2020)*

## 4.6 Roles y responsabilidades

Una de las funciones relativas a la educación en la industria 4.0 es la de los educadores adecuados. Estos educadores tienen ciertas responsabilidades que son esenciales para que puedan crear futuros trabajadores que impulsen la innovación.

La primera responsabilidad, y la más vital, es tener un conocimiento experto en la materia, en este caso la Industria 4.0. Los educadores también deben realizar una formación permanente para mantenerse al día en los aspectos técnicos y educativos.

El educador necesita planificar cursos y conferencias adecuadas. Es pertinente utilizar los seis bloques y las siete dimensiones, así como diversas metodologías de enseñanza, como el PBL, en relación con la educación I4.0.

La cooperación es una de las competencias más importantes en relación con la I4.0, por lo que es importante que el educador sea capaz de cooperar con otros educadores, personal y alumnos. El educador también debe tener un buen comportamiento con los compañeros de trabajo y los alumnos. Comportamientos como la



honestidad, la imparcialidad, la conducta ética, una actitud solidaria y un uso correcto del lenguaje, por ejemplo (QEC n.d).

No sólo hay responsabilidades para el educador, sino también para el alumno. Las primeras responsabilidades para los alumnos pueden parecer obvias, pero son cruciales. Los alumnos deben esforzarse siempre por dar lo mejor de sí mismos, lo que debe hacerse en consecuencia:

Asistir regularmente a clase con puntualidad es esencial y estar preparado para la clase tanto con material como con tareas cumplidas. De este modo, el alumno muestra respeto tanto al educador como a la asignatura. Los alumnos deben completar todas las tareas y prestar atención en clase. Deben respetar a todos los educadores, al personal y a los compañeros de clase, así como cuidar el centro y su equipamiento (Burnaby schools 2020).

También hay responsabilidades para los responsables de la toma de decisiones, como los directores y los miembros del consejo de administración.

Los directores, los miembros del consejo de administración y los responsables de la educación y los planes de estudio deben evaluar los requisitos de las empresas y los futuros lugares de trabajo para los graduados y, de este modo, adaptar la educación a sus necesidades.

## **4.7 Definición de los nuevos talleres EXAM 4.0**

El marco EXAM 4.0 para los talleres AM 4.0 debe estar orientado a las competencias I4.0 y ser adecuado para ser implementado en los centros de FP.

Las características específicas del futuro taller de FA 4.0 definitivo son difíciles de definir. Hay numerosos aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de crear tanto un marco para los futuros talleres como de crear realmente uno nuevo. Estos aspectos podrían ser, por ejemplo, el espacio disponible, el presupuesto de implantación, el nivel del MEC, el programa educativo y los alumnos que se pretende que trabajen en el taller. Debido a estos factores, es difícil definir exactamente cómo debe formarse un taller definitivo, el marco para futuros talleres de FA 4.0 creado dentro de EXAM será por tanto una base. El marco se basa en la investigación realizada durante el WP4, así como en las descripciones de los talleres existentes. Este informe y el marco pueden utilizarse como base para crear nuevos talleres.

El software y los equipos anticuados se utilizan con frecuencia en la educación, esto es a menudo el resultado de un bajo presupuesto. Los estudiantes no adquieren la experiencia necesaria para trabajar con tareas relacionadas con la fabricación avanzada en las empresas si han tenido un contacto limitado o nulo con las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0. FESTO afirma que los centros de FP no pueden seguir el ritmo



de desarrollo de las empresas, por lo que los graduados no tendrán los conocimientos adecuados cuando soliciten un empleo. Por lo tanto, es necesario que los centros de FP cooperen con las empresas u organizaciones de la I4.0. (FESTO n.d). La primera sección del marco para los futuros AM talleres 4.0 se refiere a la financiación. En las tablas para describir los talleres existentes, se ve que todos los socios de EXAM 4.0 tienen varios métodos de financiación para sus instituciones, y por tanto sus talleres, como fondos internos, fondos públicos y fondos de empresas. Es bueno tener una financiación diferente, por ejemplo, para eventos individuales o proyectos con diferentes plazos.

Como ya se ha mencionado, la Industria 4.0 se traduce en el hecho de que los equipos industriales están cada vez más conectados a Internet. Las personas que pueden gestionar tanto la tecnología operativa (OT) como la tecnología de la información (IT) son grandes activos para el futuro. Los estudiantes necesitan adquirir una mejor comprensión de las redes que transportan los datos de los dispositivos inteligentes. Por lo tanto, es vital que un taller incluya un alto grado de integración de TI, como CAD, CAM y PLM. También es importante que el taller incluya dispositivos inteligentes como sensores, actuadores, M2M y CPS. Para que los alumnos estén preparados para trabajar en el sector de la fabricación avanzada, deben conocer todas las tecnologías relevantes y tener experiencia en varias de ellas. Por lo tanto, el taller debería, basándose en los requisitos de los programas educativos del taller, incluir tecnologías como la robótica, las impresoras 3D, la RV/RA y las máquinas CNC.

La estrategia de aprendizaje, el método educativo y el contenido educativo que se imparte en los talleres son aspectos importantes en relación con los resultados de aprendizaje de los estudiantes. La información relativa a los métodos de aprendizaje y las competencias que son vitales para un taller de Industria 4.0 se incluye en el informe D4.3 / parte del WP4.

También hay muchos aspectos de un nuevo taller que deben ser tomados en consideración y validados antes de la creación del taller. Estos aspectos pueden ser

- Número de alumnos que se pretende que trabajen en el taller
- Ciclo de vida del taller
- Industrias a las que va dirigido
- Objetivo principal y secundario del taller
- Ciclo de vida de la tecnología
- Métodos de fabricación

No se ha definido cuál es la respuesta definitiva a estos aspectos. Sin embargo, es vital que cada organización valide estos aspectos y tome medidas basadas en la investigación para obtener el mejor resultado posible para el taller en cuestión.

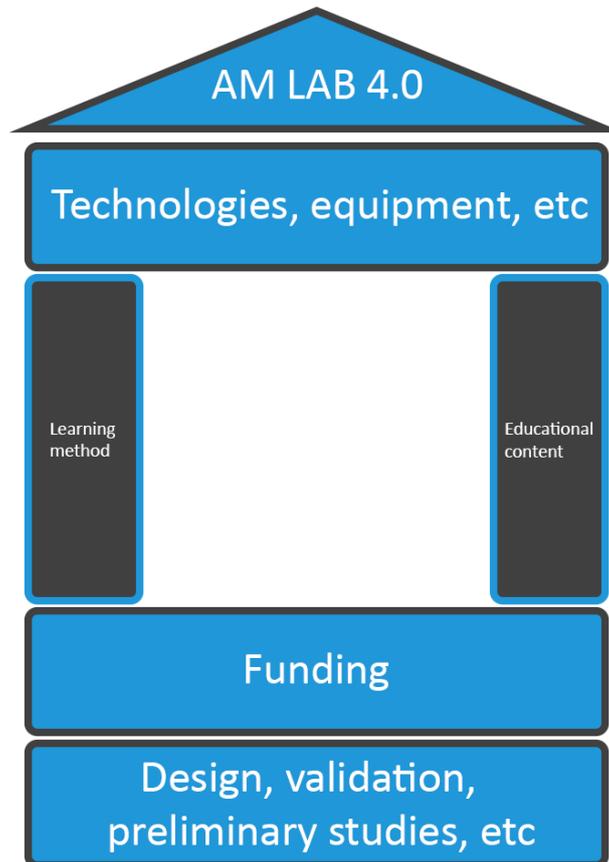


Figura 30 Prototipo de modelo del taller de FA 4.0 (EXAM 4.0)

Considerar los aspectos mencionados, por ejemplo, el ciclo de vida del taller, las industrias a las que se dirige, etc., en los estudios preliminares es esencial para pasar al siguiente paso. Es un requisito inevitable conocer la base del taller para poder examinar los métodos de financiación.

En el siguiente paso, la financiación, es importante validar todos los aspectos de la financiación. Por ejemplo, los fondos para la creación del taller, los fondos para el mantenimiento del taller y cómo podría utilizarse el taller para generar más ingresos aunque el uso principal del taller sea la educación. El modelo de centro de FP EXAM 4.0 para los talleres de FA puede utilizarse a la hora de diseñar el nuevo taller y validar la financiación. En lugar de utilizar el modelo como descripción de un taller existente, se podría utilizar y responder como referencia para el taller definitivo.

El tercer paso es el más esencial a la hora de crear un nuevo taller de FA. Qué programas educativos funcionarán en el taller y cuáles son los niveles del MEC. Es importante conocer el contenido educativo que se incluirá en los programas y los métodos de aprendizaje que se utilizarán.

Los programas educativos en el taller repercuten en las tecnologías y equipos que son relevantes para el taller en cuestión. La información relativa a las tecnologías de la Industria 4.0 que son relevantes para los talleres de FA se incluye anteriormente en el WP4.

### Futuro taller EXAM 4.0

Se han evaluado las descripciones de los talleres existentes y, por tanto, de los talleres de los socios del consorcio, y se ha utilizado el modelo de centro de FP EXAM 4.0 para los talleres de FA con el fin de describir el taller definitivo en consecuencia:

1.1	operador	Institución académica			institución no académica					operador con ánimo de lucro	
		Universidad (lic.)	Universidad (dip)	Lic en Hum.	Centro de FP / Escuela secundaria	Cámara	Institución	Asociación de empresarios	Red industrial	Consultoría	Empresa productora
1.2	instructor	Profesor	Investigador	Asistente estudiantil		Técnico experto / Int. especialista			Consultor	Educador	
1.3	desarrollo	Desarrollo propio			Desarrollo con ayuda externa				Desarrollo externo		
1.4	financiación inicial	Fondos internos			Fondos públicos				Fondos empresariales		
1.5	financiación continua	Fondos internos			Fondos públicos				Fondos empresariales		
1.6	continuidad de la financiación	financiación a corto plazo (por ejemplo, eventos individuales)			Financiación a medio plazo (proyectos y programas < 3 años)				Financiación a largo plazo (proyectos y programas > 3 años)		
1.7	modelo de negocio para la formación	Modelos abiertos			Modelos cerrados (programa de formación sólo para una empresa)						
		Modelo de club	Tarifas de los cursos								

2.1	Objetivo principal	Educación			Formación profesional				Investigación							
2.2	Propósito secundario	Entorno de prueba / entorno piloto			Producción industrial		Transferencia de innovaciones		Anuncio de producción							
2.3	Grupos destinatarios de la educación y la formación	Alumnos	Estudiantes		Trabajadores					Emprendedor	Autónomo	Desempleado	Público			
			Licenciados	Maseteros	Estudiantes de doctorado	Aprendices	Trabajadores cualificados	Trabajadores semicualificados	No cualificados					Gerentes		
														Gestión inferior	Gestión intermedia	Gestión alta

2.4	Constelación de grupos	Homogéneo		Heterogéneo (nivel de conocimientos, jerarquía, estudiantes + empleados, ...)								
2.5	Industrias objetivo	Ingeniería mecánica y de instalaciones		Automoción	Logística		Transporte		Bienes de consumo de alta rotación		aeroespacial	
		Industria química		Electrónica	Construcción		Seguros/banca		Industria textil		...	
2.6	Contenidos de aprendizaje relacionados con la materia	Gestión y organización	Eficiencia de recursos	Gestión ajustada	Automatización	CPPS	Diseño del sistema de trabajo	Interfaz hombre-máquina	Diseño	Diseño y gestión intralógica		...
2.7	Papel del taller en la investigación	Objeto de investigación					Facilitador de la investigación					
2.8	Temas de investigación	Gestión y organización de la producción		Eficiencia de recursos		Gestión ajustada	Automatización	CPPS	Cambiabilidad	Interfaz hombre-máquina	didáctica	...

3.1	Ciclo de vida del producto	Planificación de productos	Desarrollo de productos	Diseño de productos	Prototipos rápidos	Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
3.2	Ciclo de vida del taller	Planificación de inversión	Concepto de la fábrica	Planificación del proceso	Puesta en marcha				Mantenimiento	Reciclaje	
3.3	Ciclo de vida del pedido	Configuración y pedido	Secuenciación de pedidos	Planificación y programación de la producción					Empaquetado	Envío	
3.4	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Pruebas virtuales					Mantenimiento	Modernización	
3.5	Funciones indirectas	Gestión de la cadena de suministro	Ventas	Compras		RRHH	Finanzas / Control		QM		
3.6	Flujo de materiales	Producción continua				Producción discreta					
3.7	Tipo de proceso	Producción en masa		Producción en serie		Producción en pequeñas series			Producción única		
3.8	Organización de la fabricación	Sitio fijo		Trabajo de fabricación		Fabricación en banco			Fabricación en taller		
3.9	Grado de automatización	manual		Automatización parcial / automatización híbrida				Totalmente automatizado			
3.10	Métodos de fab.	Corte	Conformación primaria tradicional		Fabricación aditiva	Conformación	Unión	Recubrimiento	cambio de propiedades del material		
3.11	Métodos de tec.	Físico			Químico			Biológico			

4.1	Entorno de aprendizaje	Puramente físico (planificación + ejecución)	Físico apoyado por la fábrica digital (véase la línea "IT-Integration") Físico, ampliado	Físico, ampliado virtualmente	puramente virtual (planificación + ejecución)
-----	------------------------	--	---	-------------------------------	---



4.2	Escala del entorno	A escala			de tamaño natural	
4.3	niveles del sistema de trabajo	Lugar de trabajo	Sistema de trabajo		Fábrica	red
4.4	Factores que facilitan la capacidad de cambio	Movilidad	Modularidad	Compatibilidad	Escalabilidad	Universalidad
4.5	Dimensiones de la capacidad de cambio	Diseño y logística	Características del producto	Diseño del producto	Tecnología Cantidades de productos	Cantidades de productos
4.6	Integración de TI	TI antes de SOP (CAD, CAM, simulación)		TI después de SOP (PPS, ERP, MES)	TI después de la producción (CRM, PLM, ...)	

5.1	Materialidad	Material (producto físico)				inmaterial (servicio)	
5.2	Forma del producto	carga general			Productos a granel	Productos de flujo	
5.3	Origen del producto	Desarrollo propio		Desarrollo por parte de los participantes		Desarrollo externo	
5.4	Comercialidad del producto	Disponible en el mercado			Disponibles en el mercado pero simplificados didácticamente		No disponible en el mercado
5.5	Funcionalidad del producto	Producto funcional			Producto adaptado didácticamente con funcionalidad limitada		Sin función / aplicación, solo para demostración
5.6	Número de productos diferentes	1 producto	2 productos	3-4 productos	> 4 productos	Flexible, desarrollado por los participantes	Aceptación de pedidos reales
5.7	Número de variantes	1 variante	2-4 variantes	4-20 variantes	...	Flexible, desarrollado por los participantes	Determinado por los pedidos reales.
5.8	Número de componentes	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp.		21-50 comp.	51-100 comp. > 100 comp.
5.9	Uso posterior del producto	Reutilización / Reciclaje		Exposición / Exhibición		Regalo	Venta Eliminación

6.1	Clases de competencia	Competencias técnicas y metodológicas	Competencias sociales y de comunicación	Competencias personales	Competencias orientadas a la actividad y a la ejecución
-----	-----------------------	---------------------------------------	---	-------------------------	---



6.2	Dimensiones res. aprendizaje	Cognitivo	Afectivo		Psicomotriz		
6.3	Estrategia del escenario de aprendizaje	Instrucción	Demostración		Escenario cerrado	Escenario abierto	
6.4	Tipo de entorno de aprendizaje	Greenfield (desarrollo del entorno de la fábrica)			Brownfield (mejora del entorno de la fábrica existente)		
6.5	Canal de comunicación	Aprendizaje in-situ (en el entorno de la fábrica)			Conexión a distancia (en el entorno de la fábrica)		
6.6	Grado de autonomía	Instruido	Autoguiado / Auto Regulado		Autodeterminado / Autoorganizado		
6.7	Rol del Formador	Presentador	Moderador	Instructor		Instructor	
6.8	Tipo de formación	tutorial	Curso práctico de taller	Seminario	Taller	Proyecto	
6.9	Estandarización de la formación	formaciones estandarizadas			Formaciones personalizadas		
6.10	Fundamento teórico	Requisito previo	por adelantado (en bloque)	Alternando con partes prácticas	En función de la demanda	Después	
6.11	Niveles de evaluación	Retroalimentación de los participantes	Aprendizaje de los participantes	Transferencia a la fábrica real	Impacto económico de la formación	Retorno de la formación / ROI	
6.12	Evaluación del éxito del aprendizaje	Prueba de conocimientos (escrita)	Prueba de conocimientos (oral)	Informe escrito	Presentación oral	Examen práctico	Ninguno

**Normas y criterios para los modelos de taller de EXAM 4.0**

**Descripción de la norma para los talleres de la I4.0**

Un estándar, un certificado, que implique el cumplimiento de unos criterios sería beneficioso para los talleres. Los criterios para los talleres educativos podrían garantizar que se forman y aprenden las habilidades y competencias adecuadas. De esta manera podemos tener una educación, una educación de la I4.0, en toda Europa formando y educando las mismas habilidades y competencias aunque no se hayan formado en el mismo taller. Si se utilizaran los certificados de los talleres de la industria 4.0, podríamos garantizar que un estudiante en Suecia aprendiera habilidades y competencias similares y tuviera el mismo contenido educativo estándar que un estudiante en Alemania, por ejemplo. Un certificado estándar de educación ayudaría a las empresas a ver qué habilidades y competencias ha adquirido un estudiante en cualquier lugar de Europa donde se haya graduado. Definir nuevos criterios relevantes para la Industria 4.0 aumentaría el nivel de la educación en toda Europa, incrementando sucesivamente la competitividad europea en el sector industrial nacional.

Un ejemplo que muestra cómo podrían tener lugar estos criterios:



## EXAM 4.0 Education environment

The EXAM 4.0 LABS, learning space, fulfils following criteria:

### Criterion 1

Descriptions of skills the students must obtain in each lab, learning space, AM Workshop 4.0.

Skills:

- Skill #1 (why?)
- Skill #2 (why?)
- Skill #3 (why?)

### Criterion 2

Descriptions of competencies the students must obtain in each lab, learning space, AM Workshop 4.0.

Competencies:

- Competencies #1 (why?)
- Competencies #2 (why?)
- Competencies #3 (why?)

### Criterion 3

Figura 31 Criterios para los talleres (EXAM 4.0)



## - Referencias

Abele, Eberhard; Chrissolouris, George; ElMaraghy, Hoda; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian; Sihn, Wilfried and Tisch, Michael. (2015a). Learning Factories for Research, Education, and Training. *5th Conference on Learning Factories*. Elsevier B.V, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187> (gathered 2020-09-10).

Abele, Eberhard; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian and Tisch, Michael. (2015b). *Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain*. The Turkish Online Journal of Educational Technology. [https://www.researchgate.net/publication/281344323\\_Learning\\_Factory\\_Morphology\\_-\\_Study\\_Of\\_Form\\_And\\_Structure\\_Of\\_An\\_Innovative\\_Learning\\_Approach\\_In\\_The\\_Manufacturing\\_Domain](https://www.researchgate.net/publication/281344323_Learning_Factory_Morphology_-_Study_Of_Form_And_Structure_Of_An_Innovative_Learning_Approach_In_The_Manufacturing_Domain) (gathered 2020-09-07).

Abele, Eberhard; Metternich, Joachim; and Tisch, Michael. (2019). *Learning Factories Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4> (gathered 2020-08-28).

Alves, A.C; Pereira, A.C and Lopes Nunes, M. (2017). *Smart products development approaches for Industry 4.0*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035> (gathered 2020-10-17).

AM FIELD GUIDE COMPACT. (2020). *Formnext magazine for extra*. (gathered 2020-10-05).

Aventis Learning Group. (2019). *Skills You Must Have To Stay Relevant In Industry 4.0*. <https://aventislearning.com/skills-you-must-have-to-stay-relevant-in-industry-4-0/> (gathered 2020-09-14).

Barro, R. J. (1996). Determinants of economic growth: A cross-country empirical study. *NBER working paper series: Vol. 5698*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

Bilberg, A; Bogers, M; Madsen, E.S and Radziwon, A. (2014). *Procedia Eng.*, 69 1184–1190 (gathered 2020-10-17).

Buchner, Tilman; Knizek, Claudio; Kuhlmann, Kristian; Küpper, Daniel; Lorenz, Markus; Lässig, Ralph and Maue, Andreas. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. BCG Innovation Center, Germany. <https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future> (gathered 2020-10-17).

Buck Institute for Education. (n.d). *What is PBL?*. <https://www.pblworks.org/what-is-pbl> (gathered 2020-09-28).

Burnaby schools. (2020). *RESPONSIBILITIES OF STUDENT*. <https://burnabyschools.ca/responsibilities-of-students/>. (gathered 2020-10-15).

CECIMO. (2013) The European machine tool industry's Manifesto on skills.

CEDEFOP. (2010). *Skills supply and demand in Europe: Medium-term forecast up to 2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Cherry, Kendra. (2020). *The Experiential Learning Theory of David Kolb*. <https://www.verywellmind.com/experiential-learning-2795154> (gathered 2020-09-29).

Duch, B. J., Groh, S. E and Allen, D. E. (Eds.). (2001). *The power of problem-based learning*. Sterling

Epicor. n.d. *What is Industry 4.0—the Industrial Internet of Things (IIoT)?* <https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/>. (gathered 2020-10-15).

Eurostat. (2016). *Manufacturing statistics - NACE Rev. 2: Relative importance of manufacturing (NACE Section C), 2013 (% share of value added and employment in the non-financial business economy total)*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing\\_statistics\\_-\\_NACE\\_Rev.\\_2](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Manufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2).

FESTO (n.d). *Industry 4.0 User's Guide: Educator Edition*. <https://www.festo-didactic.com/us-en/news/industry-4.0-user-s-guide-educator-edition.htm?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjE2LjU4MjA> (gathered 2020-09-08).



- Fitsilis, Panos; Gerogiannis, Vassilis and Tsoutsas, Paraskevi. (2018). INDUSTRY 4.0: REQUIRED PERSONNEL COMPETENCES. *INDUSTRY 4.0*. Vol. 3, Issue 3. Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering, pp. 130-133. <https://stumejournals.com/journals/i4/2018/3/130> (gathered 2020-08-26).
- Gewerbliche Schule Crailsheim. (n.d). *WAS IST EINE LERNFABRIK 4.0*. <https://www.gscr.de/index.php?id=203> (gathered 2020-09-09).
- Growth Engineering. (2017). *WHAT IS THE EXPERIENTIAL LEARNING CYCLE?* <https://www.growthengineering.co.uk/what-is-experiential-learning/> (gathered 2020-09-29).
- Grzybowska, Katarzyna, and Łupicka, Anna. (2017). Key competencies for Industry 4.0. *Economics & Management Innovations* 1(1): pp. 250-253. [https://www.researchgate.net/publication/322981337\\_Key\\_competencies\\_for\\_Industry\\_40](https://www.researchgate.net/publication/322981337_Key_competencies_for_Industry_40) (gathered 2020-08-27).
- Gylfason, Thorvaldur. (2001). Natural resources, education, and economic development. *European Economic Review: EER*, 45, 847–859.
- Hanushek, E. A., and Woessmann, L. (2007). *The role of education quality in economic growth. Policy research working paper: Vol. 4122*. Washington, DC: World Bank Human Development Network Education Team.
- Helbig, J; Kagermann, H and Wahlster, W. (2013). *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, München, 2013 (gathered 2020-10-17).
- Heron, Chris. (2019). *What is a Transversal Competency?* Vivagogy. <http://vivagogy.com/2019/03/04/transversal-competencies-2/> (gathered 2020-10-17).
- Härtig, R.-C; Jozinović, P; Möhring, M; Neumaier, P; Reichstein, C and Schmidt, R. (2015). International Conference on Business Information Systems. 16–27. (gathered 2020-10-17).
- Impuls Foundation (2019) "Impuls compact: Engineers for Industrie 4.0", VDMA (The Mechanical Engineering Industry Association).
- i-SCOOP. (n.d). *Logistics 4.0 and smart supply chain management in Industry 4.0*. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/supply-chain-management-scm-logistics/> (gathered 2020-10-15).
- Karukapadath Hafees, Rasim and Parekattil, Aswin Kumar. (2019). *A literature review on learning factory*. Diss, Chalmers University of Technology. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/256553> (gathered 2020-09-09).
- Kienegger, Harald; Knigge, Marlene; Krcmar, Helmut and Prifti, Loina. (2017). *A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees: 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik*. St. Gallen, Switzerland February 12-15, 2017. [https://www.researchgate.net/publication/314391765\\_A\\_Competency\\_Model\\_for\\_Industrie\\_40\\_Employees](https://www.researchgate.net/publication/314391765_A_Competency_Model_for_Industrie_40_Employees) (gathered 2020-09-14).
- Knezic, Krno. (2017). *Creativity is the key to design for additive manufacturing*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-krno-knezic/> (gathered 2020-09-02).
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Koo, Jenna. (2020). *What is a Smart Factory? (And what it means for you)*. Tulip. <https://tulip.co/blog/digital-transformation/what-is-a-smart-factory-and-what-it-means-for-you/> (gathered 2020-10-08).
- Kirchner, Matthew D. (2017). *Teaching the Industrial Internet of Things*. Mequon. <https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2017/09/Teaching-IIoT-Preparing-Students-and-Learners-for-Industry-4.0-2.pdf> (gathered 2020-10-15).
- Kreimeier, Dieter. (2016). *Die LPS Lernfabrik Qualifizierung in einem realitätsnahen Fabrikumfeld*. Ruhr-Universität Bochum. [PowerPoint slides]. [https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115\\_lps\\_lernfabrik\\_presentation\\_kreimeier.pdf](https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115_lps_lernfabrik_presentation_kreimeier.pdf) (gathered 2020-09-10).



- K3 Syspro. (n.d). *What's the Difference Between 3D Printing and Additive Manufacturing?* <https://www.k3syspro.com/advice-centre/erp-advice/whats-the-difference-between-3d-printing-and-additive-manufacturing/>. (gathered 2020-10-1).
- LAB Midwest. (2020). *How to Teach Industry 4.0 in 2020*. <https://www.youtube.com/watch?v=OhbDfAZ6JUc> (gathered 2020-10-16).
- Lead The Change Community. (2019). *KEY COMPETENCIES FOR INDUSTRY 4.0 — NEGOTIATION AND CREATIVITY*. Medium. <https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f> (gathered 2020-09-14).
- Lee, Hee Jang and Shvetsova A. Olga. (2019). *The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes*. [https://www.researchgate.net/publication/332386448\\_The\\_Impact\\_of\\_VR\\_Application\\_on\\_Student's\\_Competency\\_Development\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Regular\\_and\\_VR\\_Engineering\\_Classes\\_with\\_Similar\\_Competency\\_Scopes](https://www.researchgate.net/publication/332386448_The_Impact_of_VR_Application_on_Student's_Competency_Development_A_Comparative_Study_of_Regular_and_VR_Engineering_Classes_with_Similar_Competency_Scopes). (gathered 2020-09-02).
- Leinweber S. Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert MT, editor. *Strategische Personalentwicklung - Ein Programm in acht Etappen*. 3rd ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2013
- Linke, Rebecca. (2017). *Additive manufacturing, explained*. MIT management. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained>. (gathered 2020-10-1).
- Loughborough University. (n.d). *About Additive Manufacturing*. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/> (gathered 2020-10-02).
- Marr, Bernard. (2018). *What is Industry 4.0?* Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=4acd83579788>. (gathered 2020-10-15).
- McNeill, Jane. (2019). *SKILLS VS. COMPETENCIES – WHAT'S THE DIFFERENCE, AND WHY SHOULD YOU CARE*. Hays. <https://social.hays.com/2019/10/04/skills-competencies-whats-the-difference/> (gathered 2020-10-09).
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. (2019). *Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg*. <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schluesseltechnologien/industrie-40/lernfabrik-40/> (gathered 2020-09-10).
- O'Sullivan, D., Rolstadås, A., and Filos, E. (2011). *Global education in manufacturing strategy*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(5), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0326-2>.
- OTTO Motors. (2019). *What Is the Smart Factory and Its Impact on Manufacturing?*. <https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing>. (gathered 2020-10-15).
- Pappas, Christopher. (2014). *Instructional Design Models and Theories: The Discovery Learning Model*. <https://elearningindustry.com/discovery-learning-model> (gathered 2020-09-29)
- Prince J. Michael and Felder M Richard. (2006). *Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases*. *Journal of Engineering Education*. American Society for Engineering Education. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x> (gathered 2020-10-17).
- PwC. (2016). *Skills for Key Enabling Technologies in Europe State-of-Play, Supply and Demand, Strategy, Recommendations and Sectoral Pilot*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission). [https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0\\_en](https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0_en) (gathered 2020-08-26).
- PwC. (2020). *Skills for Industry Curriculum Guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe*. Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises (European Commission). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1> (gathered 2020-09-05).
- QEC. (n.d). *Duties and Responsibilities of a Teacher*. <https://ntu.edu.pk/qec/duties-and-responsibilities-of-a-teacher/> (gathered 2020-10-15).
- Raji, R.S. (1994). *IEEE Spectr.* 31 (6) 49–55 (gathered 2020-10-17).



Rotherham A.J. and Willingham D. (2009) "21st Century Skills: The Challenges Ahead".

Serhat, Kurt. (2020). Problem-Based Learning (PBL). Educational technology. <https://educationaltechnology.net/problem-based-learning-pbl/> (gathered 2020-09-25).

Smith, A. (2001). *Return on investment in training: Research readings*. Leabrook, S. Aust.: NCVER

Spectral Engines. (2018). *Industry 4.0 and how smart sensors make the difference*.

<https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference> (gathered 2020-10-01).

Tether, B., Mina, A., Consoli, D., and Gagliardi, D. (2005). *A literature review on skills and innovation: How does successful innovation impact on the demand for skills and how do skills drive innovation? A CRIC report for the department of trade and industry*. Manchester, England: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition.

Thames, L., and Schaefer, D. (2016). *Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0*. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>.

The Challenge Institute. (2018). *Challenge based learning*. <https://www.challengebasedlearning.org/> (gathered 2020-09-28).

Throughput. (2019). *Smart Supply Chain Management: Why it is Important to Implement?*

<https://throughput.world/blog/smart-supply-chain-management/> (gathered 2020-10-17).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *JUST-IN-TIME TEACHING*. <https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/just-in-time-teaching> (gathered 2020-09-25).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *PROBLEM-BASED LEARNING (PBL)*. [https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/problem-based-learning-\(pbl\)](https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/problem-based-learning-(pbl)) (gathered 2020-09-25).

Vieweg, H.-G. (2011). *Study on the competitiveness of the EU mechanical engineering industry*. Munich: Ifo Institute

Vulkov, Volen. N.d. *3d Printing Skills: Example Usage on Resumes, Skill Ser & Top Keywords in 2020*. Enhacv.

<https://enhacv.com/resume-skills/3d-printing/>. (gathered 2020-09-02).

Whitton, Nicola. (2012). *Games-Based Learning*. [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6\\_437](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6_437) (gathered 2020-09-29).

Wirtschaft digital Baden-Württemberg. (2020). *Lernfabriken*. <https://www.wirtschaft-digital-bw.de/zielgruppen/produzierendes-gewerbe/lernfabriken-industrie-40/> (gathered 2020-09-10).

Zamboni, Jon. (2018). *What Are Examples of Technical Competencies?* Leaf Group Media. <https://careertrend.com/how-5867853-write-competency-based-resume.html> (gathered 2020-10-17).

Zhong, R. Y; Xu, X; Klotz, E; and Newman, S. T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

