

# SAM

SECTOR SKILLS STRATEGY  
IN ADDITIVE MANUFACTURING

## Directrices Operativas sobre Contexto y Herramientas de Capacitación

*Project No. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B*



### Detalles del Documento

Número de Entregable:	D3.3
Plazo límite:	Junio 2023
Organización Líder:	EC Nantes
Organización Participante:	LMS, Lortek, Ansys , EWF, LAK, Polimi
Evaluadores	Polimi, IMR
Fecha de Revisión	Junio 2023
Idioma(s):	EN
Nivel de Divulgación:	Público

## Contenidos

Contenidos.....	3
1 Resumen Ejecutivo .....	5
2 Introducción .....	6
3 Estado actual de los contextos y herramientas de capacitación en uso en Fabricación Aditiva .....	7
3.1 Estado actual de los contextos de aprendizaje en Fabricación Aditiva.....	7
3.1.1 Introducción.....	7
3.1.2 Oportunidades en tiempos de COVID.....	10
3.1.3 Enseñanza en Aula/ Enseñanza Presencial .....	11
3.1.4 Aprendizaje on-line/aprendizaje a distancia .....	15
3.1.5 Actividades Prácticas .....	18
3.1.6 Calificación y Diplomas en Fabricación Aditiva.....	19
3.1.7 Formación en empresa/ en el trabajo y prácticas en empresa .....	20
3.1.8 Aprendizaje combinado .....	21
3.1.9 Resumen de los Contextos de Aprendizaje Presentados.....	22
3.2 Estado actual de las herramientas de capacitación en Fabricación Aditiva.....	23
3.2.1 El Paradigma de la Fábrica de Enseñanza .....	23
3.2.2 Serious games .....	25
3.2.3 Realidad Aumentada .....	26
3.2.4 Project-based learning.....	27
3.2.5 Casos de uso .....	28
3.2.6 Clases magistrales de expertos en FA.....	29
3.2.7 Software de Simulación .....	30
3.2.8 Videos y animaciones educativas .....	30
3.3 Resumen de las herramientas de aprendizaje .....	31
3.4 Actividades de proyectos europeos que respaldan el aprendizaje y la formación en Fabricación Aditiva.....	32
4 Guía operativa de SAM sobre contextos y las herramientas de formación .....	34
4.1 Ejemplos de contextos y herramientas de aprendizaje de los socios de SAM.....	34
4.1.1 LORTEK.....	34
4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH.....	38
4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR) .....	39
4.1.4 IDONIAL.....	40
4.1.5 Software educacional - Granta EduPack.....	40

4.2	Metaanálisis de los estudios piloto y encuestas realizadas en el proyecto SAM.....	42
4.2.1	Estudios piloto .....	42
4.2.2	Análisis Sistemático .....	44
4.2.3	Encuestas .....	52
4.2.4	Conclusiones del meta-análisis.....	53
5	Conjunto de recomendaciones aprobadas para contextos y herramientas de formación en Fabricación Aditiva 57	
6	Conclusiones .....	59
7	Referencias .....	61
8	Glosario.....	62
	APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS RELACIONADOS CON CONTEXTOS Y HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE.....	62

## 1 Resumen Ejecutivo

El proyecto SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing) tiene como objetivo brindar, junto con todos los socios y partes interesadas, una visión compartida y soluciones colaborativas de habilidades capaces de fomentar y respaldar el crecimiento, la innovación y la competitividad en el sector de Fabricación Aditiva.

El paquete de trabajo 3 (WP3) está compuesto por tres entregables (Figura 1) que establecen la metodología para el diseño y revisión de perfiles profesionales, cualificaciones y unidades de resultados de aprendizaje. Este entregable describe la tercera parte del trabajo realizado en el paquete de trabajo 3, siguiendo la metodología propuesta para crear y revisar perfiles profesionales (D3.1) y los kits y plantillas para aplicar esta metodología (D3.2).

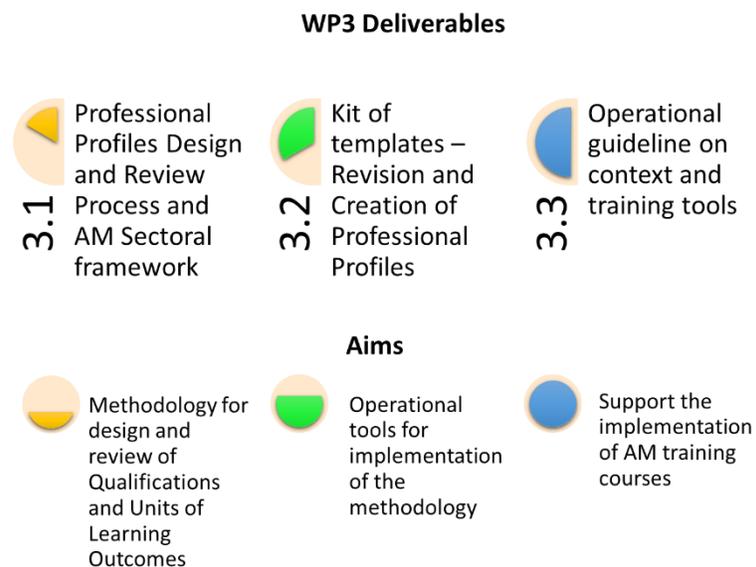


Figura 1: WP3 Deliverables overview

La principal contribución de este documento es mapear y evaluar los contextos de capacitación y las herramientas de capacitación que se correspondan con los resultados de aprendizaje de las cualificaciones. El contexto de aprendizaje se define como la situación en la que tiene lugar el proceso de aprendizaje o comprensión. Las herramientas de capacitación son todos aquellos programas, plataformas o plantillas que ayudan a los formadores a impartir su capacitación a los alumnos. En 2008, el EQF (Marco Europeo de Cualificaciones) definió los resultados de aprendizaje como declaraciones de lo que un alumno sabe, comprende y es capaz de hacer al finalizar un proceso de aprendizaje, que puede definirse en términos de conocimientos, habilidades y competencias. Esto puede ser especialmente importante para la evaluación y la evaluación con el fin de medir el conocimiento adquirido. En el caso del proyecto SAM, los resultados de aprendizaje se especificarán como habilidades y conocimientos. A menudo, se utiliza la "Taxonomía de Bloom" para describir los conocimientos y habilidades. Este modelo es jerárquico y categoriza los objetivos de aprendizaje en diferentes niveles de complejidad, desde el conocimiento básico y comprensión hasta la evaluación y creación avanzadas.

Este documento contiene una lista y descripción de los contextos de aprendizaje y herramientas de capacitación utilizadas en la formación en Fabricación Aditiva (FA). Para cada contexto/herramienta de capacitación, se incluye

una descripción de sus "ventajas", "limitaciones" y "recomendaciones para su uso en la formación en FA", lo que proporciona una buena comprensión de cómo cada contexto/herramienta puede contribuir a la formación y enseñanza en FA. Además, el entregable se beneficia de los datos recopilados mediante una encuesta dirigida a centros de formación para mostrar el estado de las habilidades más demandadas, como las habilidades digitales y las habilidades verdes, que se enseñan en los cursos existentes de FA. Finalmente, en la última sección se presentan algunos ejemplos de herramientas de formación y aprendizaje de los socios de SAM que respaldan los resultados del análisis del documento, que se discuten en las secciones anteriores.

La última revisión de este entregable (número 3) incluye resultados adicionales del metaanálisis realizado con los datos proporcionados por los estudios piloto y la encuesta realizada por los socios a lo largo de los tres primeros años del proyecto SAM. También incluye las conclusiones del metaanálisis y proporciona una visión holística de los contextos y herramientas de capacitación derivados del análisis de los estudios piloto y la encuesta, así como una interpretación de las herramientas de capacitación más utilizadas para necesidades de habilidades específicas. La última sección de este entregable actualizado incluye un conjunto de recomendaciones para los contextos y herramientas de capacitación en fabricación aditiva, las cuales fueron discutidas con expertos y actores industriales en un taller organizado el 21 de abril de 2022. Las recomendaciones identificadas fueron validadas en otra sesión especial durante la 8ª reunión técnica del proyecto SAM, celebrada en mayo de 2022.

## 2 Introducción

El mercado global de Fabricación Aditiva (FA) tuvo un valor de 9.3 mil millones de dólares en 2018, creciendo rápidamente un 18% desde el año anterior, según SmarTech Publishing, una destacada empresa de análisis de impresión 3D (1) (por ejemplo, el propietario de 3DPrint.com, 3DR Holdings, ha adquirido un interés en SmarTech Markets Publishing, la principal empresa de análisis de la industria en el sector de Fabricación Aditiva. SmarTech Publishing es la única empresa que proporciona un análisis de mercado detallado para la industria de impresión 3D/fabricación aditiva). Además, en un estudio reciente, Deloitte indica que la industria está creciendo a un ritmo aún más rápido y se espera que el mercado global de FA supere los 21 mil millones de dólares en ingresos para el año 2020 (2). Al mismo tiempo, la Society of Manufacturing Engineers (SME) encontró que nueve de cada diez fabricantes han informado dificultades para reclutar empleados adecuados (3). Por lo tanto, la necesidad de educación y formación profesional en FA es urgente para permitir el crecimiento de la industria de Fabricación Aditiva.

Después de los principales esfuerzos llevados a cabo en las tareas anteriores de este paquete de trabajo, que incluyen la definición de una metodología para diseñar y revisar perfiles profesionales en Fabricación Aditiva (FA), este entregable tiene como objetivo proporcionar una visión general de los contextos y herramientas de capacitación que permitirán a las partes interesadas implementar los perfiles profesionales en un escenario de caso real. El enfoque se centra en los contextos específicos de aprendizaje/enseñanza que se adaptan bien a los programas de educación/formación en FA, así como en las herramientas de capacitación que apoyan a los estudiantes/aprendices para alcanzar resultados de aprendizaje específicos.

Este entregable, junto con D3.1 y D3.2, proporciona un conjunto de herramientas que incluye la metodología para la creación y revisión de perfiles profesionales, un conjunto de plantillas para aplicar esta metodología y un mapa de contextos y herramientas de capacitación que permite que WP5 y WP6 avancen un paso durante la implementación de los cursos piloto.

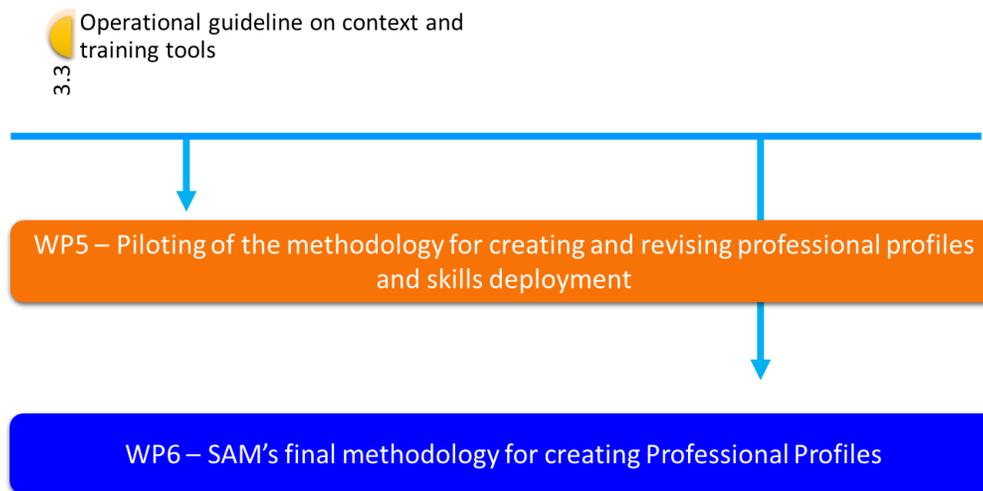


Figura 2: Interaction flow between D3.3 and remaining project outcomes

Para explorar completamente la disponibilidad de contextos específicos de aprendizaje y enseñanza en Fabricación Aditiva (FA), el documento tiene como objetivo estudiar el estado actual de los contextos de aprendizaje y herramientas de capacitación disponibles en FA. En consecuencia, la revisión se divide en dos secciones principales centradas en los contextos de aprendizaje (Sección 3) y las herramientas de aprendizaje (Sección 4), respectivamente. Al final de cada sección, se presenta una visión general de los aspectos positivos y negativos de cada contexto o herramienta. En la Sección 5, se proporciona una visión general de las diferentes iniciativas europeas relevantes relacionadas con la educación en FA. Finalmente, en la Sección 6 se describen las experiencias directas de los socios de SAM, que pueden considerarse como organizaciones líderes en el campo de la Fabricación Aditiva en Europa.

### 3 Estado actual de los contextos y herramientas de capacitación en uso en Fabricación Aditiva

Con el fin de aclarar el significado del contenido de las siguientes secciones (3.1 y 3.2), se ha incluido un glosario de términos relacionados con el contexto de aprendizaje y las herramientas de aprendizaje en el Apéndice 1 (página 59).

#### 3.1 Estado actual de los contextos de aprendizaje en Fabricación Aditiva

##### 3.1.1 Introducción

La Fabricación Aditiva (FA) es uno de los campos más prometedores y de crecimiento más rápido en la fabricación e ingeniería. Las cualificaciones están evolucionando más allá de las competencias técnicas e incluyendo otros tipos de habilidades, clasificadas y discutidas en más detalle en el Paquete de Trabajo 2 (WP2). Además, el análisis de los programas existentes de educación/formación en FA revela que la mayoría de ellos no se han centrado únicamente en un solo contexto de aprendizaje, sino que consisten en una combinación de contextos de aprendizaje. Ahora se está expandiendo hacia diversos campos. Por lo tanto, FA se considera un campo multidisciplinario que debe tratarse adecuadamente en los programas de educación y formación, sin olvidar las raíces subyacentes de la ingeniería mecánica y de materiales.

A pesar del fuerte crecimiento industrial, la educación en Fabricación Aditiva (FA) está actualmente subrepresentada en el ámbito académico, siendo considerada como una materia menor en los planes de estudios de ingeniería. La mayoría de las universidades abordan la FA con clases introductorias y talleres prácticos para demostrar las capacidades de la FA en la fabricación y la libertad de diseño.

Un ejemplo de un curso bien desarrollado en Fabricación Aditiva (FA) es el enfoque de enseñanza en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para estudiantes de ingeniería, que difiere del enfoque para los aprendices en la industria. Para los estudiantes de ingeniería en los últimos años del grado y niveles superiores de posgrado, la capacitación en FA se lleva a cabo en un contexto pedagógico triangular (tres herramientas básicas de aprendizaje) que consiste en sesiones en el aula, una serie de prácticas de laboratorio y proyectos de casos reales. El curso comienza con las clases para construir una base de comprensión de FA y sus procesos relacionados. Después de la introducción, las clases y sesiones de laboratorio permiten a los estudiantes experimentar tanto el aprendizaje como la aplicación simultáneamente. Por ejemplo, la Modelado por Deposición Fundida (Fused Deposition Modelling, FDM) se enseña en clase y se asignan prácticas relacionadas con el proceso a equipos de estudiantes, que incluyen el preprocesamiento (trabajo con software para el diseño de piezas), la impresión (empleo y observación de la funcionalidad de la máquina de impresión), el posprocesamiento y la inspección. El siguiente paso es una asignación de proyecto individual. A cada estudiante se le asigna diseñar y/o ensamblar una pieza con el propósito de brindarles experiencia práctica en enfrentar desafíos y atributos del proceso de FA elegido. Este método centrado en problemas permite a los estudiantes ser proactivos y aprender a investigar problemas, así como a resaltar las competencias necesarias para resolverlos. Luego, basados en su comprensión y los recursos disponibles, los estudiantes podrán seleccionar el proceso de FA más adecuado para completar la tarea. Los estudiantes enfrentan problemas reales, lo que mejora su conocimiento y habilidades. Esto elimina las limitaciones de algunos métodos convencionales que se centran en proporcionar a los estudiantes información específica y pedirles que realicen una tarea basada en esa información proporcionada.

Otro ejemplo se puede encontrar en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Politécnico di Milano, donde se ofrecen cursos tanto a nivel de Máster (MSc) como de formación profesional. Dos ejemplos de cursos de MSc en FA incluyen un curso de Fabricación Aditiva impartido en diferentes áreas (Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Automatización, Ingeniería de Gestión, Diseño) (4) y el curso de Fabricación Aditiva para el Espacio y la Aeroespacial para estudiantes de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Gestión, que también está abierto a estudiantes de doctorado (5). Estos cursos se basan en una combinación de clases magistrales, discusión de estudios de caso, testimonios de la industria, ejercicios en clase, actividades de laboratorio y formación en computadoras, diseñados con programas específicos dedicados a la FA, entre otros. Las actividades de laboratorio se llevan a cabo para permitir que los estudiantes desarrollen conocimientos prácticos sobre problemas específicos de FA y su representación virtual.

Además, los investigadores y facultades del Politécnico di Milano también están involucrados en diferentes programas de capacitación en FA dirigidos a profesionales. Algunos ejemplos incluyen: 1) Master en Fabricación Aditiva en Milán, organizado por MIP Graduate School of Business - Management Academy, Politécnico di Milano, 2) Fabricación Aditiva de Metales: Investigación y Experiencia Industrial, organizado por el Centro Internacional de Ciencias Mecánicas, Università di Udine, 3) Master Bosch Industria 4.0, organizado por Cefriel, Politécnico di Milano para Bosch Italia, 4) Proyecto Formativo Avanzado en Fabricación Aditiva, organizado por Confindustria Firenze Formazione para Baker Hughes, una empresa de GE y 5) Master en Fabricación Aditiva, organizado por Rina Consulting. Estos cursos se basan en una combinación de clases magistrales, visitas a laboratorios y actividades de laboratorio, dependiendo del nivel de experiencia y conocimiento de los participantes. En las siguientes secciones se discuten ejemplos de contextos de aprendizaje y herramientas de capacitación relacionadas con estos cursos.

En el contexto del proyecto SAM, como "escenarios de casos reales", se están re-desarrollando o desarrollando cursos de calificación piloto ofrecidos por la EWF (un socio principal en el proyecto SAM). La calificación que se desarrollará se seleccionará de las diversas encuestas que se enviarán a la industria, centros de capacitación y fuerza laboral dos veces al año. A partir de estas encuestas, se seleccionarán las calificaciones que parezcan ser las más demandadas para ser probadas por los diferentes socios en condiciones de casos reales. Por lo tanto, se recomienda a los socios que sigan la estructura, unidades de competencia y conocimientos detallados lo más cercanamente posible.

Para probar la aplicabilidad y la implementación de estos escenarios piloto de "casos reales", se llevaron a cabo varias sesiones a lo largo del proyecto, centrándose en diferentes unidades de competencia (CUs) cada vez.

Durante la primera etapa de piloto, que tuvo lugar a finales de 2020 y principios de 2021, se enfocó en las siguientes Unidades de Competencia (CUs):

Unidades de Competencia	Horas /Modo	Organización
00 AM overview	5 /Presencial	Lortek
01 DED–Arc Process	42 /Presencial	AITIIP
08 DED-LB Process	15 / Online	FA
15 PBF-LB Process	27/ Online	IMR
25 Post Processing Methods for AM Parts	Online	LMS
26 Introduction to Materials	Online	UBRUN Ansys
27 AM with Steel Feedstock	Online	EPMA
30 Additive Manufacturing with Nickel Feedstock	7/ Online	EPMA
31 AM for Titanium	11/Presencial	Lortek
34 Process Selection	20 /online	EC Nantes
35 AM process integration	21/Presencial	AITIIP
36 Coordination of AM	7/ Online	MTC
43 Production of PBF-LB parts	18/Online	POLIMI
44 Conformity of PBF-LB parts	20/Online	POLIMI
45 Conformity of facilities featuring PBF-LB	14/ Online	ISQ
61 Simulation Analysis	20 /Online	IDONIAL
62 AM Simulation Execution	44/online	Ansys

La segunda etapa de piloto tuvo lugar en el verano de 2021, y las Unidades de Competencia (CU) en las que se enfocaron fueron:

Unidades de Competencia	Horas /Modo	Organización
63 Certification, Qualification and Standardization in Additive Manufacturing (CQS)	7/Online	IMR & MTC
63 Certification, Qualification and Standardization in Additive Manufacturing (CQS)	7 /Online	LORTEK
64 Business for AM	17 / Online	EC Nantes
65 - Overview on polymer materials and properties	Online	ISQ
65 - Overview on polymer materials and properties	Online	UBRUN & Ansys

66 - Designing Polymers AM Parts	Online	MTC &AITIP
67 - Post Processing for Polymers	7 /Presencial	LAK
68 - Design for Material Extrusion	Online	FA
68 - Design for Material Extrusion	Online	LMS
69 - Design for PBF Polymer	Online	LMS & AITIP

Los pilotos culminaron con el Piloto de la Calificación de Coordinador de FA de Metal (Octubre de 2022 a Mayo de 2023):

Unidad de Competencia	Horas /Modo	Organización
00 - Additive manufacturing Process Overview	3.5 / Online	ISQ
01: DED-Arc Process	35 / Online	MTC & LORTEK
08- DED-LB Process	28/ Online	MTC
15- PBF-LB Process	28/ Online	IMR
25- Post Processing	10.5/ Online	LMS
34- Process Selection	24.5/ Online	EC NANTES
35- Metal AM Integration	17.5/ Online	IDONIAL
36- Coordination Activities	7/ Online	MTC
72- Metal Binder Jetting process	21/ Online	POLIMI & MTC

### 3.1.2 Oportunidades en tiempos de COVID

La pandemia de la enfermedad del coronavirus (Covid-19) tuvo un impacto en el área de la educación, principalmente con la suspensión generalizada de las operaciones presenciales en instituciones educativas en más de 190 países para limitar la propagación del virus y reducir sus efectos. Las industrias o entidades educativas no pudieron detener el desarrollo de capacidades, por lo que tuvieron que encontrar soluciones muy rápidamente. En las dificultades causadas por la pandemia, surgieron oportunidades.

Antes de la pandemia de Covid-19, los programas de aprendizaje digital y virtual estaban en aumento, y ahora estamos viendo un aumento significativo en este tipo de programas de aprendizaje, que muchos aprendices más jóvenes disfrutan. Se podría decir que las habilidades de aprendizaje mejoradas que surgieron de la pandemia pueden tener un efecto favorable a largo plazo. Las actividades de buenas prácticas, que abarcan desde lo urgente y táctico hasta lo estratégico, pueden ayudar a que los programas de aprendizaje en el lugar de trabajo mantengan el impulso y los beneficios, al tiempo que sientan una nueva base para un aprendizaje virtual y combinado efectivo junto con la educación presencial convencional. Establecer un equipo de respuesta al aprendizaje, proteger a los aprendices en programas en persona, apoyar el aprendizaje digital, experimentar con tácticas digitales alternativas y practicar y prepararse para diversos resultados son ejemplos de estas acciones.

La pandemia de Covid-19 creó desafíos de innovación (y, por lo tanto, oportunidades) tanto para estudiantes como para entrenadores, quienes tuvieron que adaptar las prácticas de entrenamiento para evitar la proximidad humana. Los entrenadores ahora están experimentando más con el aprendizaje virtual y adoptando nuevas tecnologías, como entornos de realidad aumentada y virtual, para abordar esta situación. Por ejemplo, se podría mencionar que la capacitación en fabricación es mejor cuando es práctica, por lo que será vital que los proveedores de capacitación descubran formas innovadoras de mantener el mismo nivel de enseñanza, incluso ante la crisis. Como resultado, la fabricación se ha vuelto cada vez más sofisticada y digital a medida que las organizaciones adoptan las tecnologías (ver Virtual Reality Market Share & Trends Report, 2021-2028 (grandviewresearch.com) y The Impact and Potential

of Virtual Reality Training in High-Consequence Industries (trainingmag.com)) necesarias para mantenerse actualizadas. Esto se evidencia en el surgimiento de la Industria 4.0 y el Internet Industrial de las Cosas (IoT). La adopción de estas tecnologías permite a las empresas mejorar la eficiencia, la precisión y la capacidad de tomar decisiones informadas en sus procesos de fabricación y operaciones, lo que impulsa la transformación digital en el sector manufacturero.

Se han observado ciertas tendencias. De hecho, además de los aspectos académicos, los programas educativos y la evaluación, mantener la motivación de los aprendices ha surgido como una necesidad crítica durante el período de la pandemia. Además, el desarrollo de nuevas habilidades (upskilling) y el cambio de habilidades (reskilling) deben comenzar de inmediato para que las empresas estén en la mejor posición posible para avanzar. Los Sistemas de Gestión del Aprendizaje (LMS) facilitan la conexión con los aprendices de forma remota y en cualquier momento, al alojar el contenido de aprendizaje en línea. Sin embargo, no siempre brindan una zona de evaluación. Por ejemplo, Moodle es una plataforma de aprendizaje en línea donde se pueden realizar y calificar exámenes de preguntas de opción múltiple (MCQ). Si bien pueden ofrecer cuestionarios y calificación automática, tienen limitaciones en lo que respecta a evaluar habilidades y competencias. Como se mencionó anteriormente, aunque las herramientas de entrega de aprendizaje en línea y combinadas no son nuevas, la pandemia de Covid-19 las ha llevado a primer plano. El reskilling y upskilling también se han vuelto críticos para las personas que acaban de perder sus trabajos. Cursos flexibles, fáciles de consumir y relevantes para la industria están en alta demanda.

Finalmente, las microcredenciales se han convertido en una opción popular. Estos cursos pequeños, conocidos como microaprendizaje, pueden ser construidos descomponiendo una unidad de competencia y pueden ser completamente aprobados y respaldados por una organización profesional. Este enfoque de aprendizaje atrae a los estudiantes porque les permite centrarse y adquirir la habilidad específica que desean. Esto ayuda a los aprendices a mejorar sus habilidades y mantenerse actualizados en una industria que cambia rápidamente. Se prevé que el microaprendizaje se mantendrá en alta demanda debido a estos factores.

En conclusión, los futuros estudiantes buscan una mayor flexibilidad para acceder a la formación. Esto puede ser respaldado tanto por los empleadores, a través de una formación basada en el trabajo, formalizada y con certificación reconocida, como por opciones de formación independiente que no supongan un desafío en cuanto a compromiso de tiempo o aspectos financieros (por ejemplo, el año pasado, el 81% de los 4.2 millones de estudiantes de formación profesional en Australia eran estudiantes a tiempo parcial). Las expectativas de los estudiantes con respecto a los cursos han cambiado y sus preferencias incluyen el aprendizaje en línea, el aprendizaje presencial o el aprendizaje combinado (el aprendizaje combinado es un enfoque que combina la entrega de la educación mediante sesiones remotas o de acceso remoto con horas de contacto presencial convencionales). La libertad que otorga el aprendizaje en línea permite que la evaluación sea accesible, portátil, flexible y fácilmente adaptable. En general, los aprendices/estudiantes pueden encontrarse en cualquier lugar donde esté disponible la tecnología, esto incluye el aula, la biblioteca, el lugar de trabajo o incluso el hogar. Finalmente, es importante mencionar que existen oportunidades de financiamiento disponibles con el propósito de mejorar la digitalización de las organizaciones y empresas mediante la actualización de las tecnologías existentes y ofreciendo incentivos a la educación superior; estos están disponibles a nivel nacional e internacional.

### 3.1.3 Enseñanza en Aula/ Enseñanza Presencial

El aprendizaje en el aula es un tipo de aprendizaje presencial. El entorno de aprendizaje se crea dentro de las paredes físicas de un aula donde los estudiantes y el profesor están presentes físicamente. Además, estas clases se clasifican en:

- **Clase magistral:** un tipo de clase presencial en la que el profesor habla sobre un tema durante un período de tiempo prolongado. Hay poca interacción entre el profesor y los estudiantes. Es un método unidireccional<sup>1</sup>.
- **Seminarios:** un tipo de clase presencial donde los estudiantes toman turnos para dar su opinión o aportar información sobre un tema frente a la clase. Los estudiantes discuten lo que han aprendido de la clase magistral<sup>2</sup>.
- **Taller:** un tipo de clase presencial similar a los seminarios, donde los estudiantes hablan y el profesor modera la discusión sobre un tema específico. Los talleres involucran ejercicios más interactivos para fomentar la comunicación entre los participantes y pueden extenderse durante todo un día o varios días<sup>1</sup>.

En una encuesta realizada como parte del entregable SAM WP 4.3, el 5.7 % de los participantes de la encuesta afirmó que la educación en FA (Fabricación Aditiva) se lleva a cabo en un centro educativo. Hoy en día, muchas universidades ofrecen másteres en FA con modalidad presencial y a tiempo completo durante dos semestres. Estos programas a menudo incluyen proyectos grupales, proyectos individuales y una tesis final. Los estudios de máster en FA suelen tener una duración de dos semestres y pueden ser cursados a tiempo completo o parcial. Las asignaturas del programa están principalmente divididas en módulos de enseñanza, proyectos grupales, proyectos individuales y/o la tesis final.

Los temas de los **módulos de enseñanza** se imparten en estilo de enseñanza en el aula, en forma de conferencias y tutoriales. El número de horas de contacto depende en gran medida del tema del módulo y varía entre las universidades. Las pautas sobre las horas se pueden encontrar en documentos proporcionados por EWF o CLLAIM (ver sección 4). La evaluación de los resultados del aprendizaje se realizará en forma de exámenes escritos, estudios de casos, ensayos, presentaciones y pruebas. La mayoría de las universidades que ofrecen programas de grado o máster en FA tienen máquinas de fabricación aditiva en sus laboratorios de enseñanza.

En los **proyectos grupales**, los estudiantes trabajan juntos para resolver problemas industriales proporcionados por el director del curso. El proyecto aplica conocimientos técnicos y brinda capacitación en trabajo en equipo, así como la oportunidad de desarrollar aspectos no técnicos del programa de estudios. Estos proyectos suelen contar con el apoyo de organizaciones externas y plantean escenarios de la vida real.

En cuanto a los **proyectos individuales**, también son seleccionados en colaboración con el director del curso. En ellos, el estudiante puede demostrar investigación y pensamiento independiente.

Los aspectos multidisciplinarios involucrados en la fabricación aditiva dan lugar a una combinación de formación en aspectos teóricos y actividades prácticas. La formación en el aula para estudiantes de máster tiene como objetivo introducir los procesos de fabricación aditiva y sus aplicaciones, y discutir sus implicaciones técnicas y empresariales para diseñadores, ingenieros, "fabricantes" y otros posibles usuarios de esta tecnología avanzada de fabricación.

Como ejemplo, los temas cubiertos en la formación en el aula del curso de Máster en Fabricación Aditiva ofrecido por el Politécnico de Milán son:

- **Introducción.** Principios capa por capa. Ventajas y limitaciones de la fabricación aditiva (FA). Desarrollo histórico de la tecnología de FA. Cadena de proceso generalizada de FA. Materiales y aplicaciones industriales: prototipado rápido, fabricación rápida de herramientas, fabricación digital directa. Selección de procesos, disponibilidad y tendencias en el mercado, oportunidades comerciales.

---

<sup>1</sup> <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

<sup>2</sup> <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

- **Tecnología de FA: Polímeros.** Descripción y modelado de los principales procesos de FA para polímeros. Máquinas, problemas de software, post-procesamiento, diseño para FA con polímeros.
- **Tecnología de FA: Metales.** Descripción y modelado de los principales procesos de FA para metales. Máquinas, problemas de software, post-procesamiento, diseño para FA con metales.
- **Verificación de productos de FA.** La necesidad de metrología de precisión. Metrología dimensional y geométrica para FA: límites de los sistemas de medición táctiles y ópticos; sistemas de medición basados en volumen: tomografía computarizada 3D por rayos X. Medición de topografía de superficie (táctil, óptica u otros) y métodos de análisis.
- **Monitorización en línea para FA.** medición de variables de proceso, enfoques de monitoreo, sensores y fusión de datos.

Otro ejemplo de enseñanza en el aula se puede observar en el curso de Fabricación Aditiva para el Espacio y la Aeronáutica impartido en el Politécnico de Milán. La formación en el aula tiene como objetivo proporcionar una comprensión profunda de todas las tecnologías de FA actuales utilizadas en sectores industriales de alta gama. Se describe en detalle cada proceso de fabricación para metales (convencionales y no convencionales), polímeros, materiales compuestos, cerámicas y vidrio, células vivas/órganos humanos. Cada proceso se analiza en términos de sus principales aplicaciones y el proceso que ofrece un rendimiento ideal, así como todas las ventajas y desventajas asociadas.

El curso posteriormente aborda todos los desafíos técnicos actuales. Por ejemplo, aspectos de diseño y reglas de diseño asociadas para FA, desafíos de fabricación que comienzan con la adquisición y control de la materia prima (métodos de tamizado de polvo, especificaciones de adquisición y requisitos de verificación). Para el proceso de fabricación en sí, se aborda la estabilidad del proceso y su monitoreo/control, siendo el producto el protagonista. Además, se abordan las rutas de calificación y validación espaciales. Por último, se presenta la estandarización para facilitar la adopción en el mercado de la impresión 3D y promover su potencial de innovación para la competitividad industrial. Finalmente, el curso ofrece una perspectiva de los futuros desarrollos relacionados con la FA, incluida la impresión 4D y los avances en la industria 4.0.

Las **clases virtuales** se han convertido recientemente en una necesidad debido a las limitaciones impuestas por la propagación del coronavirus. Esto ha obligado a que los cursos existentes se ofrezcan temporalmente de forma remota. Se espera que la Covid-19 tenga un impacto masivo en la formación futura. Aunque los métodos de capacitación se han adaptado parcialmente a las plataformas de aula en línea, el contenido se ha mantenido igual. Sin embargo, es interesante señalar que esta situación contextual también ha abierto discusiones y la comprensión del papel de las tecnologías de FA frente a situaciones de emergencia y una rápida demanda de productos comúnmente producidos por otros métodos de fabricación. Incluir estas discusiones en los cursos de formación sobre FA puede tener el potencial de aumentar la conciencia de los aprendices sobre el papel estratégico que desempeña la FA a nivel nacional e internacional.

La enseñanza de Fabricación Aditiva se está implementando esporádicamente en las aulas tanto para estudiantes de secundaria como para ingenieros universitarios. A nivel de grado de ingeniería, la educación en FA toma la forma de ciertas clases como parte de un programa de currículo más amplio. Como ejemplo, Granta Design ha desarrollado recursos para la enseñanza de pregrado y postgrado enfocados en cursos tradicionales de ingeniería de materiales, pero que incluyen FA como un área en crecimiento para nuevos recursos. Las unidades de conferencias listas para usar en formato PowerPoint y los cuadernillos de ejercicios asociados están disponibles en Teaching Resources HUB <https://grantadesign.com/education/teachingresources/>.

Se pueden crear gráficos personalizados de propiedades de materiales para ilustrar puntos específicos y copiarlos en PowerPoint, o guardarlos como archivos de proyecto y abrirlos dentro del software para poder anotar el gráfico en tiempo real durante su clase. El software GRANTA EduPack también se utiliza como base para ejercicios prácticos breves para los estudiantes durante las sesiones en el aula o como "tarea". Los recursos de enseñanza de EduPack proporcionan dichos ejercicios. Los estudiantes pueden investigar materiales y crear informes o carteles para demostrar su aprendizaje. El software EduPack está disponible en la mayoría de las universidades de toda Europa que enseñan ingeniería de materiales a través de licencias de campus. La Tabla 2 proporciona una visión general del contenido de las unidades de enseñanza integradas en EduPack.

Table 1. Resumen del contenido de las unidades de enseñanza que respaldan el aprendizaje de los principios de las tecnologías de Fabricación Aditiva.

Principios de FA	Content Unit
Principios Generales de las tecnologías de FA	Naturaleza capa a capa
	Procesos de formación (por ejemplo, fusión, sinterización).
	Post-Procesado
Diseño para FA	Descripción de la naturaleza "freeform" de la Fabricación Aditiva en comparación con los métodos convencionales de manufactura sustractiva y otros procesos de fabricación
	Restricciones de fabricabilidad de la FA
	Fabricabilidad en AM y alteraciones de diseño
	Optimización topológica y Diseño Generativo habilitados con FA
FA para producción en serie	Economías de escala frente a personalización masiva
	FA - Valor añadido para la producción.
	Fabricación Aditiva para las fases de desarrollo del producto y las fases de producción final

Una búsqueda en internet de cursos de formación en FA (Master y Grado) ofrecidos por diferentes organizaciones en toda Europa, así como cursos de formación industrial, mostró que los siguientes temas son abordados, dependiendo de las áreas de enfoque:

- Procesos de FA para Metales
- Procesos de FA para Polímeros
- Principios de Ingeniería y Ciencia del FA
- Materiales para FA (Plásticos/Metales)
- Estrategias de construcción
- Calidad de fabricación (defectos, estándares, procedimientos, control estadístico)
- Inspección de características de calidad
- Metalurgia de FA (características metalúrgicas / Fabricación cercana a la forma final)
- Post-procesamiento en AM: principios de tratamientos térmicos
- Diseño para FA / CAD

- Análisis de Elementos Finitos
- Simulación de procesos / Modelado en FA
- Software en FA
- Sistemas de datos en FA
- Implementación en fábrica (Industria 4.0)
- Diseño de Sistemas de FA
- Automatización y Robótica
- Pensamiento crítico y resolución de problemas
- Trabajo en equipos multidisciplinares y técnicas de ideación para estimular la creatividad.

### 3.1.4 Aprendizaje on-line/aprendizaje a distancia

Una encuesta realizada en WP 4.3 del proyecto SAM reveló que la educación en línea representó el 27,4 %. Sin embargo, como se mencionó anteriormente en la sección 2.2, se espera un crecimiento constante debido a la propagación del Covid-19 y la digitalización de la educación y la capacitación.

El aprendizaje on line se considera como enseñanza no en vivo. Los estudiantes no tienen que estar disponibles en un horario o día específico para recibir instrucción en el aula del profesor<sup>3</sup>. Los estudiantes tienen acceso a un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) como Moodle o Dokeos. El EVA actúa como un medio de comunicación y una herramienta de aprendizaje interactiva. Algunas entidades proporcionan apoyo de tutores a los estudiantes que realizan el programa. Estos tutores pueden ser contactados por correo electrónico o Skype cuando sea necesario<sup>4,5,6</sup>. Por otro lado, el aprendizaje a distancia implica que los estudiantes utilizan material instructivo (tanto impreso como medios electrónicos) y reciben instrucciones del profesor en diferentes momentos. Puede ser en tiempo real utilizando plataformas como Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom o similares, o tener horarios flexibles. Por lo tanto, se espera que los estudiantes estén disponibles para la instrucción de manera sincrónica en algunas ocasiones. El trabajo realizado por los estudiantes es revisado digitalmente por el profesor<sup>7,8,9</sup>. También suelen incluir talleres presenciales, escuelas de verano o "residenciales" como parte del programa de grado<sup>10</sup>.

Un tipo de aprendizaje on line se realiza a través de talleres virtuales. Según Engineering Education Australia<sup>11</sup>, la definición de un Taller Virtual es un método de entrega estructurado en línea en tiempo real para capacitación y desarrollo profesional. Los Talleres Virtuales son interactivos y utilizan herramientas como salas de trabajo para discusiones y actividades basadas en casos de estudio prácticos, así como comunicación bidireccional. También incluyen una variedad de materiales de referencia para ayudar a los participantes a aplicar lo aprendido en la práctica

---

<sup>3</sup> <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

<sup>4</sup> <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

<sup>5</sup> <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

<sup>6</sup> Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, *Internet and Higher Education* (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

<sup>7</sup> <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

<sup>8</sup> Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, *Internet and Higher Education* (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

<sup>9</sup> <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

<sup>10</sup> <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

<sup>11</sup> <https://eea.org.au/insights-articles/what-virtual-workshop>

después de la capacitación y también pueden combinarse con lecturas previas o elementos de estudio a su propio ritmo para maximizar el contenido cubierto en el curso.

El aprendizaje en línea y el aprendizaje a distancia pueden dividirse en diferentes áreas: cursos en línea universitarios para estudiantes de máster, cursos en línea de acceso gratuito, plataformas en línea como MOOC y cursos cortos para la industria. Los cursos gratuitos ofrecen un nivel de información más básico y están dirigidos al público en general. Los cursos de máster que requieren una tarifa de matrícula proporcionan conocimientos más profundos. La mayoría de las universidades que ofrecen cursos de máster en FA (se refiere a algún campo de estudio específico, pero no tengo suficiente contexto para entender a qué se refiere con "FA") también ofrecen programas diseñados para ser realizados en línea. Sin embargo, algunos cursos que se toman en línea pueden requerir entrenamiento presencial en laboratorios. Los cursos se dividen en diferentes módulos y se cubrirán los mismos temas que se muestran en la enseñanza presencial. Dependiendo del tipo de aprendizaje en línea, se aplicarán enfoques de aprendizaje diferentes. El aprendizaje basado en hechos está relacionado principalmente con introducciones y cursos gratuitos, mientras que el aprendizaje basado en proyectos, la investigación o la resolución de problemas puede ser más aplicado en la enseñanza de estudiantes de máster.

Como se mencionó anteriormente, el MIT se destaca entre las instituciones que ofrecen aprendizaje en línea: se imparten conferencias en video y los estudiantes aprenden de expertos educativos e industriales a través de entrevistas. Las piezas fabricadas se evalúan en línea y se prevé el uso de software de vanguardia en el futuro. Para comunicarse, se utiliza una plataforma basada en navegador llamada edX, que incluye contenido multimedia, presentaciones, datos de piezas en 3D y herramientas interactivas y cuantitativas. Los diseños de CAD se pueden guardar en la nube y los modelos de costos se pueden acceder fácilmente. Además, la accesibilidad en línea permite tener una base de conocimientos en línea con contenido adicional sobre temas de fabricación aditiva, ampliando la variedad de temas enseñados. La comunicación entre estudiantes y compañeros puede tener lugar a través de un panel de discusión en línea. Además de la plataforma de formación en línea de la Universidad MIT, existen varias otras plataformas de formación en línea asociadas con universidades reconocidas, como UDEMY, Alison, Coursera y edX, que ofrecen una variedad de cursos de formación no especializados/especializados. Además, la Unión Europea ofrece cursos en línea gratuitos que cubren temas básicos para proporcionar una comprensión más amplia de la fabricación aditiva (consultar el capítulo 5 - Actividades Europeas). Aquellas personas interesadas en la fabricación aditiva también pueden acceder al conocimiento a través de manuales en línea, webinars (a menudo proporcionados por proveedores de tecnología de fabricación aditiva) y publicaciones en blogs.

### 3.1.4.1 Plataformas de aprendizaje on line en uso

#### 3.1.4.1.1 3DExperience de Dassault Systems

3DExperience es una plataforma de negocios global que está orientada a bases de datos y permite la colaboración entre diferentes partes interesadas a las que se les ha otorgado acceso. La plataforma se centra en varios roles profesionales para diferentes sectores tecnológicos y, dependiendo del rol seleccionado y/o adquirido, se pueden utilizar aplicaciones integradas para guiar al usuario a través de un proceso.

En el caso de la fabricación aditiva, cubre toda la cadena de procesos y se puede aplicar a lo largo del proceso de aprendizaje. La plataforma está dirigida principalmente a ingenieros y diseñadores, pero también a estudiantes, para proporcionar una plataforma de aprendizaje práctico que ofrece una guía paso a paso a través de la cadena de procesos de la fabricación aditiva. La plataforma es accesible para fines privados, empresas o mediante la nube pública. Por lo tanto, un proveedor, como una universidad, puede otorgar acceso a diferentes partes interesadas (estudiantes) para que trabajen individualmente o en equipos en proyectos de fabricación aditiva. Teóricamente, un

grupo de estudiantes puede aplicar un estudio de caso de la vida real considerando diferentes roles en una empresa. La plataforma está basada en un PLM (Enovia), por lo que la gestión de usuarios, permisos y control de versiones es bastante sencilla. La configuración inicial es similar a crear un equipo en Teams.

Cuatro aplicaciones diferentes pueden ser elegidas: CATIA para crear un diseño generativo funcional, Delmia para simular el proceso de planificación de construcción durante la Fusión por Cama de Polvo, Simulia para llevar a cabo simulaciones de FA y CATIA2 para crear morfologías virtuales a reales. Dependiendo de lo que necesiten los estudiantes, eligen una aplicación o siguen paso a paso la cadena de procesos. Pasar por toda la cadena de procesos ayuda al estudiante a trabajar con la fabricación aditiva desde un enfoque general. Dentro de CATIA se pueden estudiar el diseño y la optimización de piezas de FA, mientras que Delmia es una herramienta más orientada al proceso que se centra en el conocimiento del proceso de construcción. Simulia y CATIA2 se enfocan en las variables del proceso y su influencia en la pieza dentro del proceso, pero también en la influencia de las estrategias de postprocesamiento. Las aplicaciones individuales simulan una cadena de procesos de la vida real, y el software 3DExperience permite a los estudiantes trabajar en un entorno de la vida real que también se utiliza en la industria actualmente. La plataforma se utiliza para implementar la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL). Las personas pueden utilizar diferentes herramientas y metodologías dentro de la plataforma para desarrollar nuevos productos de fabricación aditiva y familiarizarse con diferentes programas de software.

#### 3.1.4.1.2 Ansys Learning Hub

Ansys ofrece un centro de aprendizaje en línea basado en la web con recursos de capacitación para abordar proyectos actuales y desarrollar oportunidades para mejorar las habilidades en fabricación aditiva, especialmente para ingenieros de diseño y simulación en FA. Es un servicio de suscripción que brinda acceso a una gran cantidad de recursos, incluyendo cursos presenciales programados globalmente, cursos virtuales en todas las zonas horarias, cursos de video a su propio ritmo, rutas de aprendizaje para guiar la selección de cursos, salas de aprendizaje dedicadas para preguntas y discusiones, y materiales de capacitación detallados. Específicamente, los cursos actuales para desarrollar habilidades en fabricación aditiva a través del software de Ansys son:

- **Introducción a Ansys Additive Prep.** El público objetivo son ingenieros, diseñadores y operadores de máquinas que trabajan con impresoras de metal. Los métodos de enseñanza consisten en conferencias y sesiones prácticas en computadora para validar el conocimiento adquirido. "Ansys Additive Prep" enseña el flujo de trabajo dentro del software Additive Prep, desde la importación de la pieza hasta la exportación de archivos de construcción que contienen toda la información necesaria para la impresora y/o para la simulación de impresión. En este curso, el alumno aprende cómo encontrar la orientación optimizada para imprimir una pieza y cómo detectar automáticamente las regiones que necesitan soporte; la forma de crear y definir los parámetros de soporte se presenta en el archivo de conferencia. Los alumnos aprenden dónde ingresar los parámetros de la máquina de impresión para la generación de archivos de construcción. Finalmente, el curso presenta el siguiente paso de la simulación de fabricación aditiva: exportar el archivo de construcción y utilizarlo en Workbench Additive o en productos de impresión aditiva. Este curso enseña dónde definir los parámetros de soporte y cómo definir los parámetros de la máquina. Se proporciona un certificado de capacitación a todos los asistentes que completen el curso.
- **Introducción a Ansys Additive Print:** En este curso, los participantes aprenden sobre: el proceso DMLS, el proceso de calibración, resolver problemas avanzados de análisis térmico, predecir la distorsión, diferenciar las opciones de modo de deformación, generar soportes basados en la geometría, elegir la posición de construcción de las piezas, seleccionar el patrón de escaneo, visualizar y evaluar los resultados de impresión. El público objetivo son Ingenieros, Diseñadores y Operadores de máquinas que trabajan con impresoras de metal. El método de enseñanza incluye conferencias y sesiones prácticas en computadora

para validar el conocimiento adquirido. Se proporciona un certificado de capacitación a todos los asistentes que completen el curso.

### 3.1.4.1.3 Granta Education Hub

Granta Design desarrolla recursos de enseñanza y para estudiantes, así como bases de datos de materiales y software educativo utilizando herramientas sofisticadas para respaldar la enseñanza de selección de materiales, diseño y sostenibilidad. Los aproximadamente 350 recursos para maestros y estudiantes se ponen a disposición de forma gratuita a través del sitio web Granta Education Hub en

<https://grantadesign.com/education/teachingresources>.

Los tipos de recursos incluyen presentaciones, ejercicios, estudios de caso, artículos y tutoriales en video. La unidad de conferencia "Fabricación" cubre los fundamentos de la ciencia de materiales y procesos relacionados, que deben constituir la base para cualquier capacitación en fabricación aditiva. Las unidades de enseñanza consisten en: Materiales y Forma, Selección de materiales, Procesos de fabricación y costos, etc. Los recursos educativos están traducidos a 8 idiomas.

### 3.1.5 Actividades Prácticas

Un aspecto importante de la formación en el campo de la fabricación aditiva está relacionado con las actividades prácticas y las visitas a laboratorios. Las actividades prácticas pueden organizarse e implementarse de diferentes formas. Como ejemplo, en el marco del Master Bosch Industry 4.0, organizado por Cefriel y Politecnico di Milano para Bosch Italia, los estudiantes tienen la posibilidad de experimentar todos los pasos, desde el diseño de la pieza hasta el proceso de corte, preparación del código G y la impresión final. Esto permite que los estudiantes tomen conciencia de los problemas prácticos relacionados con la impresión 3D y su potencial industrial. También les permite poner en práctica los principios y conceptos aprendidos durante el curso. En el Politecnico di Milano, hay un aula equipada con varias impresoras 3D para polímeros que pueden ser utilizadas directamente por los estudiantes en el Departamento de Ingeniería Mecánica.

Las visitas a laboratorios también son importantes, ya que permiten a los estudiantes ver y tocar piezas reales, sistemas industriales y prototipos de investigación. Los estudiantes pueden aprender sobre proyectos de investigación y desarrollo en curso para tener una mejor comprensión del estado actual de la tecnología, así como abordar problemas abiertos y soluciones innovadoras que aún no están en el mercado.

Dentro del mundo educativo y académico, la fabricación aditiva tiene una fuerte presencia en las áreas de laboratorios y talleres. Con la adopción de impresoras 3D de escritorio, el equipo de FA se volvió accesible para pequeñas entidades para ser adquirido y operado. Esto genera dos ventajas importantes para la educación en FA.

Primero, los laboratorios con actividades de investigación diferentes a la fabricación aditiva pueden aprovechar la capacidad de fabricación de sus impresoras de escritorio e imprimir piezas para sus actividades de investigación. Esto les permite utilizar la tecnología de impresión 3D como una herramienta complementaria y mejorar sus proyectos de investigación. En segundo lugar, las demostraciones en tiempo real de cómo se imprimen piezas en 3D son consideradas la forma más valiosa y efectiva para introducir la FA como una nueva tecnología. Esta introducción fuera del aula y en vivo tiene como objetivo impulsar a los estudiantes a participar activamente y comprometerse en el aprendizaje de las tecnologías de fabricación aditiva. Ver en acción la impresión 3D puede ser muy inspirador y motivador para los estudiantes, lo que aumenta su interés y curiosidad por la tecnología. Las actividades del laboratorio de FA generalmente tienen como objetivo educar mediante la demostración de los siguientes aspectos:

- Formación de piezas mediante FA
- Operaciones de la máquina de FA (alimentación de material, carga y descarga de polvo)
- Procesos de post-procesado de FA

### 3.1.6 Calificación y Diplomas en Fabricación Aditiva

Una calificación en Fabricación Aditiva es actualmente la validación oficial de competencias más popular en la industria europea. Las instituciones que ofrecen calificaciones en FA son tanto centros de formación en FA (autorizados o no autorizados - por ejemplo, por EWF) que también proporcionan formación relevante para que el participante obtenga el entendimiento necesario en FA, como centros de evaluación que validan el conocimiento y habilidades en FA del examinado.

En el mundo académico, la educación en FA no tiene una certificación distinta entre las principales carreras de ingeniería. Puede ser ofrecida como una especialización o una asignatura dentro de las principales disciplinas y diplomas de ingeniería. Los estudiantes de ingeniería pueden seleccionar una serie de cursos disponibles en su facultad para enriquecer su comprensión de los procesos de FA o continuar sus estudios de posgrado con un Máster en Ciencias o un Doctorado en FA. También se ofrecen certificaciones adicionales en FA en algunas universidades, como Másteres Profesionales en Ingeniería o certificados de crédito para graduados. Este tipo de educación y certificación en FA suele ser breve (de un año) y comúnmente tiene un enfoque digitalizado, como cursos en línea.

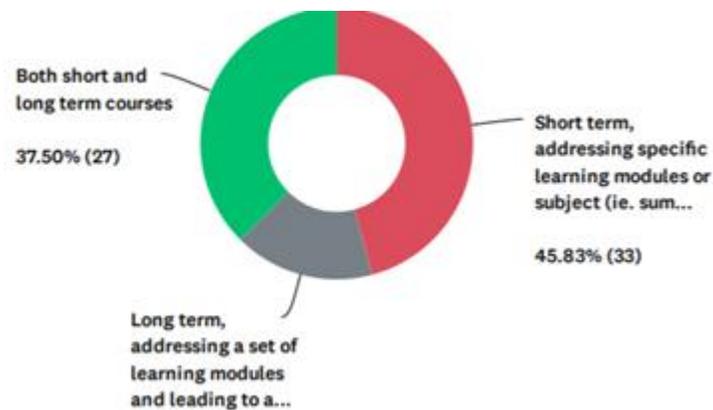


Figura 3: Duración de los cursos de FA.

El contenido de todas las calificaciones en Fabricación Aditiva tiende a ser altamente especializado y dirigido a ejes temáticos que abarcan desde el Diseño para FA con metales, hasta las operaciones de máquinas de FA y el manejo de polvos en FA.

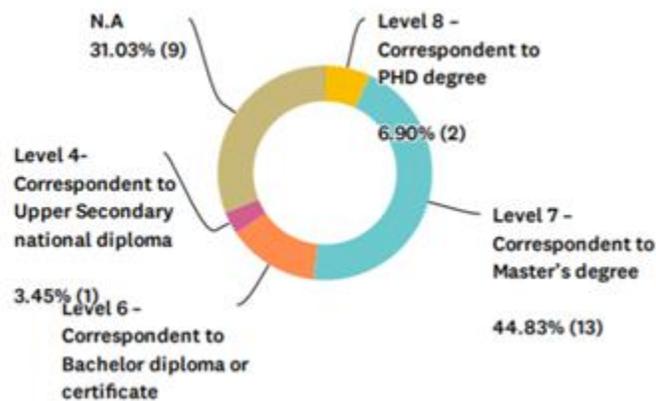


Figura 4: Nivel EQF objetivo.

### 3.1.7 Formación en empresa/ en el trabajo y prácticas en empresa

La formación en la empresa o la formación en el trabajo se refiere a un enfoque práctico o un curso de capacitación para adquirir nuevas competencias y habilidades necesarias para un trabajo, impartido por la empresa a un trabajador específico<sup>12</sup>. Por otro lado, las prácticas en la empresa se definen como una experiencia laboral a corto plazo ofrecida por las empresas a los estudiantes para obtener una exposición a nivel de entrada a una industria o campo específico, donde el estudiante desarrolla habilidades técnicas y habilidades blandas<sup>13</sup>.

Muchas empresas dentro del campo de la Fabricación Aditiva ofrecen cursos cortos sobre temas de FA. Como los cursos cortos generalmente tienen como objetivo a una audiencia más amplia, los temas a menudo incluyen:

- Viabilidad de diseños de piezas en FA
- Implementación de la Fabricación Aditiva
- Procesos de FA
- Materiales en FA
- Cálculo de costos de piezas en FA
- Calidad de piezas (propiedades y tolerancias).

Es cierto que los cursos cortos suelen ser proporcionados por proveedores de servicios o tecnología en el campo de la Fabricación Aditiva. Además, los ingenieros recibirán una formación especializada para la validación de procesos, mantenimiento, solución de problemas, software, estimación de costos, salud y seguridad, así como la planificación y ejecución de escaneo e impresión 3D. Un ejemplo de curso de TUV Sud se puede ver aquí: <https://www.tuvsud.com/de-de/store/academy/technical-trainings/additive-manufacturing>

Un programa de formación ha sido desarrollado por la Federación European Welding Federation (EWF) en <https://www.ewf.be/additive-manufacturing>, <https://www.ewf.be/additive-manufacturing>, en el cual se enseñan diferentes contextos según diferentes perfiles laborales. Estos perfiles se clasifican de la siguiente manera:

- Operador de Deposición Directa de Energía - DED (hilo más arco)
- Operador de Deposición Directa de Energía - DED (láser)

<sup>12</sup> <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

<sup>13</sup> <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

- Operador de Fusión de Lecho de Polvo con Láser
- Ingeniero de Deposición Directa de Energía - DED (hilo más arco)
- Ingeniero de Deposición Directa de Energía - DED (láser)
- Ingeniero de Fusión de Lecho de Polvo con Láser
- Diseñador
- Inspector

Otro proveedor de un programa de formación en Fabricación Aditiva es PM Life (<https://www.pmlifetraining.com/about/about-pm-life>), que ha sido desarrollado por la Asociación Europea de Metalurgia de Polvos. El programa tiene como objetivo desarrollar el futuro de la Metalurgia de Polvos. Las personas pueden elegir y seleccionar diferentes módulos o asistir a un programa completo. Los cursos tienen una duración de una semana y se llevan a cabo en diferentes ubicaciones de Europa. Al final, se propone una pasantía en una fábrica o universidad (tres semanas). Finalmente, se otorga un certificado. Los siguientes temas son cubiertos:

- Prensado y Sinterizado
- Fabricación Aditiva
- Polvo y Materiales Duros

En cuanto a los cursos para profesionales, tanto la formación interna como externa se lleva a cabo. La mayoría de los ejemplos mencionados anteriormente (como el Máster en FA en Milán; Università di Udine; Máster en FA en Rina Consulting y la formación de Ingenieros en FA en MTC) están involucrados en la formación externa de profesionales en universidades u organizaciones de formación (como EWF). Por otro lado, algunas organizaciones externas imparten cursos internos a la industria (como el Progetto Formativo FA Advanced de Confindustria Firenze Formazione para Baker Hughes, una compañía de GE). Dentro del marco del Máster Bosch Industry 4.0, organizado por Cefriel y el Politecnico di Milano para Bosch Italia, algunos módulos de formación en FA se llevaron a cabo en la empresa, mientras que otros módulos se realizaron en la universidad. En particular, proporcionar parte del curso de forma externa facilita la realización de visitas a laboratorios, sesiones prácticas internas y experiencia directa con investigaciones de vanguardia en el campo realizadas por el instituto. Por otro lado, la formación interna tiene el potencial de personalizar el contenido de la formación con respecto a las necesidades de la propia empresa. La formación interna puede ser proporcionada por proveedores de máquinas que ofrecen formación específica en el sitio sobre máquinas o tecnologías particulares.

### 3.1.8 Aprendizaje combinado

La definición del aprendizaje combinado, que es la combinación de técnicas de aprendizaje, ha sido investigada a lo largo de los años y se ha encontrado que, en un sentido más amplio, todos los contextos de aprendizaje mencionados anteriormente pueden considerarse (de una forma u otra) como técnicas de aprendizaje combinado. El aprendizaje combinado es la interacción entre la enseñanza presencial y la enseñanza en línea. Por lo tanto, la enseñanza en línea (3.1.4) podría combinarse con actividades prácticas (3.1.5). El profesor es libre de elegir qué método, combinación y proporción podrían ser adecuados para adaptarse a las necesidades del grupo de estudiantes. Además, el aprendizaje combinado facilita una rápida adaptación a las tendencias en cuanto a estilos de aprendizaje, así como una rápida integración de nuevas herramientas de aprendizaje en línea. Esto se considera una verdadera ventaja, especialmente en una era en la que la digitalización avanza rápidamente y el profesor necesita estar al tanto de los avances.

Existen varios métodos de enseñanza que se pueden emplear en el aprendizaje combinado:

- Cara a cara (estilo tradicional estudiante-profesor).

- Rotación (los estudiantes van de una estación/actividad a la siguiente).
- Flex (los estudiantes controlan su camino de aprendizaje y el profesor actúa como mentor).
- Gamificación (incluye elementos de juego, por ejemplo, los estudiantes compiten y avanzan de nivel en nivel).
- Laboratorio on line (aprendizaje completamente en línea para profundizar el conocimiento).
- Auto-mezcla (involucra a los estudiantes interesados en documentos técnicos, blogs, tutoriales en video, etc.).
- Aprendizaje on line (aprendizaje autodirigido mientras el profesor, instructor o maestro se comunica, por ejemplo, a través de videochat).

### 3.1.9 Resumen de los Contextos de Aprendizaje Presentados

Como se ha mostrado en las subsecciones 3.1.1 hasta 3.1.9, actualmente se ofrecen diferentes contextos de aprendizaje para la formación en Fabricación Aditiva. El tipo de contexto de aprendizaje depende de los detalles específicos del curso. En la Tabla 2 se presenta un resumen de recomendaciones con sus limitaciones y posibles evaluaciones.

Tabla 2: Resumen de recomendaciones en la aplicación de contextos de aprendizaje en la formación para FA.

Tipo de contexto de aprendizaje	Ventajas	Limitaciones	Recomendaciones para la aplicación en la formación para FA	Evaluaciones
<b>Aprendizaje on line/a distancia</b>	Fácilmente accesible	Todo virtual - sin actividades prácticas Podría ser necesario equipamiento adicional (por ejemplo, Oculus Rift para realidad virtual)	Para el futuro, combinado con prácticas en empresa o en instalaciones de enseñanza	Test On-line; informe. Ejercicios de Feedback
<b>Aprendizaje en aula/ Presencial (Clases magistrales/Seminarios/ Talleres)</b>	Método establecido	Aprendizaje basado en hechos, pérdida de efectividad después de 15-30 minutos	Necesidad de combinarlo con actividades prácticas. Actividades para fomentar la participación (encuestas, brainstorming, ejercicios de resumen)	Tests, informes, PBL (Project Based Learning)
<b>Laboratorio (actividades prácticas)</b>	Aprendizaje práctico, necesita combinarse con clases teóricas	Equipamiento en laboratorio	Necesita ser combinado con clases magistrales.	Estudios de laboratorio, PBL, trabajos

				en grupo, prácticas.
<b>Prácticas en empresa para estudiantes o aprendizaje en el trabajo para trabajadores</b>	Aprendizaje práctico en un entorno industrial o de investigación	Normalmente enfocada en un único sector o proceso, lo cual limita una aproximación más global de la FA.	Debería combinarse con clases on line o presenciales para tener una visión global de FA.	Prácticas
<b>Aprendizaje combinado (presencial y online/a distancia)</b>	Accesible para cualquiera, permite una rápida adaptación a nuevas herramientas y tendencias de aprendizaje, bajo coste, adaptabilidad a las necesidades del/ de la alumno/a	Necesidad de conocer las características de los/las alumnos/alumnas con antelación. Los resultados de aprendizaje deben definirse de antemano.	Es una buena oportunidad para combinar contenido teórico con actividades prácticas (tutoriales, máquinas).	Test online, estudios de laboratorio, trabajos en grupo

### 3.2 Estado actual de las herramientas de capacitación en Fabricación Aditiva

#### 3.2.1 El Paradigma de la Fábrica de Enseñanza

El paradigma de la Fábrica de Enseñanza (TF) utiliza la educación y la formación basada en las necesidades individuales tanto del ámbito académico como de la industria. Se establece una comunicación directa entre ingenieros universitarios y actores industriales para llevar a cabo una tarea colaborativa (6). Estos dos lados abordan un problema de ingeniería compartido, pero tienen objetivos finales separados, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Objetivos de la Fábrica de Enseñanza

Objetivos del ámbito académico	Objetivos de los socios industriales
<b>Experiencia técnica</b>	Nuevas soluciones
<b>Conocimiento práctico</b>	Apoyo en las decisiones
<b>Problemas impuestos en la vida real</b>	Aproximaciones “out-of-the-box”
<b>Pruebas de concepto</b>	Externalización de tareas

Los diferentes objetivos pueden alcanzarse mediante una relación simbiótica entre el ámbito académico y la industria, en la cual la Fábrica de Enseñanza actúa como canal de comunicación y factor catalizador. Como explicó G. Chryssolouris et al <sup>13</sup>, la Fábrica de Enseñanza sigue un canal de transferencia de conocimiento bidireccional, donde los temas de fabricación son la base para nuevos modelos de sinergia entre el ámbito académico y la industria. Se intercambian ideas y soluciones novedosas entre el ámbito académico y la industria para equilibrar el tiempo y el

costo requeridos para aprender y probar soluciones a problemas de fabricación, y profundizar el conocimiento de la industria y el ámbito académico mediante innovación en la producción o problemas reales (Figura 5, izquierda). Existen dos esquemas operativos: "de la fábrica al aula" y "del ámbito académico a la industria". El concepto "de la fábrica al aula" tiene como objetivo trasladar el entorno real de fabricación al aula, mientras que el concepto "del ámbito académico a la industria" tiene como objetivo transferir el conocimiento desde el ámbito académico a la industria (Figura 5, derecha).

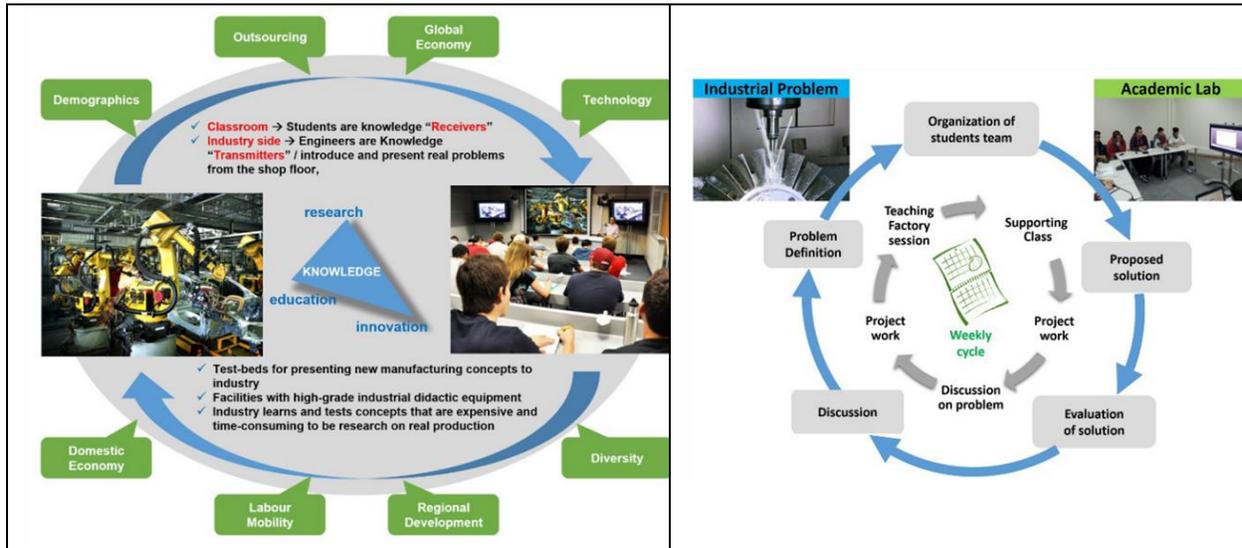


Figura 5: (Izquierda) concepto de la fábrica de enseñanza; (Derecha) ciclo de transferencia de conocimiento de la fábrica de enseñanza<sup>14</sup>.

Dado que las herramientas de la Fábrica de Enseñanza son principalmente digitales, las barreras de distancia se eliminan. Este modelo puede aplicarse a nivel global, incluso si la universidad y el área de producción industrial están separados.

Para lograrlo, el enfoque de la Fábrica de Enseñanza actúa como un canal bidireccional: se puede implementar desde la fábrica hacia el aula y desde el laboratorio hacia el área de producción. Las tres aplicaciones principales de la Fábrica de Enseñanza son:

1. Aprendizaje académico.
2. Aprendizaje profesional.
3. Aprendizaje societal.

La Fábrica de Enseñanza de Fabricación Aditiva (AM TF) se utiliza como una herramienta de capacitación con el propósito de intercambiar experiencia desde la industria hacia el ámbito académico y viceversa (7). Los objetivos de la AM TF son:

- a. Proporcionar conocimientos técnicos y educación especializada a estudiantes de ingeniería para mejorar la formación y habilidades del futuro personal capacitado en Fabricación Aditiva.
- b. Mejorar la preparación tecnológica de nuevas tecnologías relacionadas con la Fabricación Aditiva y acelerar la adopción de la producción mediante Fabricación Aditiva en los sectores industriales.

<sup>14</sup> G. Chryssoulouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pages 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

El proceso de implementación de la Fábrica de Enseñanza de Fabricación Aditiva (AM TF) requiere de dos partes. La primera proviene del mundo industrial. Esta parte del modelo AM TF aporta un problema real de producción que debe resolverse o un nuevo desarrollo que debe llevarse a cabo. Además, la parte industrial cuenta con el equipo de Fabricación Aditiva y se encarga de la producción real del componente mediante esta tecnología.

La segunda parte está formada por miembros de la comunidad académica. Este lado del equipo proporciona la solución analítica para el problema que se plantea o realiza la investigación necesaria para los desarrollos requeridos.

Con la finalización de la AM TF, ambas partes se benefician: el lado industrial habrá mejorado su producción y el lado académico habrá obtenido conocimientos e experiencia valiosos.

### 3.2.2 Serious games

**Serious games, o juegos serios,** son juegos digitales utilizados con propósitos distintos al mero entretenimiento. El punto de partida es el propio concepto de los serious games y lo que realmente significa. Estos juegos permiten a los aprendices experimentar situaciones que son imposibles en el mundo real debido a razones de seguridad, costo, tiempo, etc., pero también se afirma que tienen impactos positivos en el desarrollo de diversas habilidades de los jugadores. A continuación, se discuten algunos posibles impactos positivos (y negativos) de los serious games. Además, se consideran algunos de los mercados en los que se utilizan dichos juegos, incluyendo juegos militares, gubernamentales, educativos, corporativos y de atención médica. Los serious games se utilizan en aplicaciones no relacionadas con juegos, lo que significa que se utilizan para la formación, publicidad, simulación y educación. La capacidad de los juegos para cautivar al usuario se utiliza para adquirir nuevos conocimientos y habilidades. Un número creciente de escuelas ofrece carreras en arte de los videojuegos, como el título de Grado o Máster en Bellas Artes y/o el título de Grado o Máster en Ciencias, según los temas elegidos. Susi et al. (8) describe los serious games como una forma divertida de aprender sobre temas serios en la fabricación. Por ejemplo, las instrucciones de audio y visuales se pueden aplicar fácilmente para guiar a un usuario a través del ensamblaje de un nuevo producto para su uso o para proporcionar mantenimiento rutinario o incluso reparaciones de emergencia. Muchas aplicaciones actualmente involucran rutinas previas a procedimientos en el entorno médico, simulaciones para manejar fobias y enseñar problemas de matemáticas. Se ha demostrado que el entretenimiento es una forma efectiva de compartir y transferir conocimientos.

En términos de enseñanza de Fabricación Aditiva, se podría desarrollar un modo multijugador que permita a diferentes grupos de aprendizaje asumir diferentes roles en el proceso de FA utilizando, por ejemplo, plataformas interactivas. Otro ejemplo en el que se han aplicado con éxito los serious games es el uso inmediato de aplicaciones de motor en tiempo real que se han creado tomando datos CAD, reformateándolos y reduciéndolos (9). La visualización en tiempo real puede ayudar, por ejemplo, a un ingeniero de procesos a comprender mejor las máquinas y el entorno de FA.

Un ejemplo reciente de un juego "serio" de Fabricación Aditiva es un videojuego dedicado al descubrimiento de la Fabricación Aditiva de Metal. Se llama "AddUp Adventure" y fue lanzado en 2019 por AddUp. El juego actúa como "SIMS" y se desarrolla en un entorno 3D, aprovechando diálogos con personajes no jugadores, narración ambiental, fases de exploración no lineales, recolección de objetos, mini-juegos y aprendizaje basado en hechos. Se asume que "AddUp Adventure" fomenta el compromiso de los estudiantes y ayuda a capacitar a personas con un perfil no técnico. Además, hay algunos cuestionarios relacionados con FA disponibles a través de sitios web como (<https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/>, <https://aaq.auburn.edu/node/1549>, por ejemplo).

### 3.2.3 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que permite superponer elementos virtuales en nuestra visión de la realidad. Esto se logra mediante el uso de elementos visuales digitales, sonido u otros estímulos sensoriales entregados a través de la tecnología<sup>15</sup>. Esta tecnología permite a los maestros mostrar ejemplos virtuales de conceptos y agregar elementos de juego para brindar apoyo a los materiales del libro de texto. Esto permitirá a los estudiantes aprender más rápido y memorizar información de manera más efectiva.

Los programas de FA que combinan Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) actualmente solo se encuentran en los Estados Unidos de América. La Universidad de Arizona ofrece un programa de certificación de 8 cursos, en línea o presencial, que conducirá a una especialización menor en FA (<https://ami.arizona.edu/courses>). Los temas incluirán:

- Simulación de procesos de FA.
- Modelado basado en física utilizando el motor de juegos Unity3D.
- Evaluación de los estudiantes basada en el tiempo, precisión y factores humanos.
- Percepción cognitiva respaldada por experiencias inmersivas utilizando equipos de RV/RA.
- Visualización y retroalimentación háptica.
- Gemelos digitales y aprendizaje automático para el modelado y control de procesos.
- Seguridad ciberfísica e infraestructura.

Se ha desarrollado un recurso de aprendizaje para realidad aumentada e impresión 3D por 3D Bear. Esta empresa trabaja en recursos de aprendizaje a distancia que combinan tecnologías inmersivas y contenido pedagógico inspirador para obtener los mejores resultados de aprendizaje. Realidad aumentada ("RA"), realidad virtual ("RV"), fotos en 360 grados, escaneo e impresión 3D. Desarrollo profesional, implementación y talleres.

<https://www.3dbear.io/>

El artículo " Augmented Reality Interfaces for Additive Manufacturing " (10) explora casos de uso potenciales para utilizar la realidad aumentada (RA) como una herramienta para operar máquinas industriales. Como referencia, utilizan un sistema de fabricación aditiva, más conocido como una impresora 3D. Implementan interfaces y controles de realidad aumentada novedosos utilizando frameworks de código abierto y hardware de bajo costo fácilmente disponibles. Sus resultados muestran que la tecnología permite un control de impresora más rico e intuitivo y un monitoreo del rendimiento más avanzado que lo que actualmente está disponible en el mercado. Por lo tanto, existe un gran potencial para este tipo de tecnologías en las futuras fábricas digitales.

Otras experiencias relacionadas con la realidad virtual se mencionan en el artículo " A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training " (2015). En este artículo se presenta una aplicación de software extensible que simula un proceso de Fabricación Aditiva en un entorno de Realidad Virtual (RV). La aplicación analiza los movimientos de los componentes de la máquina y los atributos del segmento impreso a partir de archivos de código G exportados del software de Fabricación Asistida por Computadora (CAM) de MakerBot®. La posición, velocidad y tipo de movimiento se utilizan para simular los movimientos físicos de la máquina. Se crea un "segmento" de impresión en las posiciones de inicio y finalización de un movimiento de impresión. La codificación de color de los atributos del segmento y la modificación de su tamaño y forma establecen una relación visual entre la terminología de una configuración de impresión y su representación en el entorno virtual. Esta relación visual entre los segmentos impresos y las configuraciones de impresión facilita el aprendizaje del proceso de impresión 3D y la terminología

---

<sup>15</sup> <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

asociada. Los usuarios novatos y expertos pueden modificar las configuraciones de impresión en el entorno virtual antes y después de imprimir un prototipo. Identificar y corregir un error en el entorno virtual reduce el tiempo y el costo de imprimir una pieza con la calidad deseada.

### 3.2.4 Project-based learning

Los métodos de enseñanza inductiva incluyen el aprendizaje basado en la indagación, el aprendizaje basado en problemas (PBL), el aprendizaje basado en proyectos (PjBL), la enseñanza basada en casos y la enseñanza "justo a tiempo" (just-in-time teaching).

Los problemas y proyectos están diseñados para representar problemas auténticos, lo que se ha demostrado que motiva a los estudiantes, mantiene su interés y los involucra activamente en el aprendizaje. Los enfoques de aprendizaje basados en PBL han demostrado mejorar el desarrollo del pensamiento crítico y la resolución de problemas, y mejorar la comprensión de conceptos críticos de ingeniería.

El principio central del enfoque PBL es que el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de los estudiantes se logra a través de la resolución de problemas abiertos, en lugar de una presentación deductiva de información. El problema, cuidadosamente diseñado para ser auténtico y reflejar la práctica profesional, sirve como motivación para aprender el contenido. Los estudiantes trabajan en grupos pequeños para resolver el problema, identificando primero lo que ya saben, lo que necesitan saber y cómo y dónde acceder a la información que les ayudará a resolver el problema. Los problemas se utilizan como una oportunidad para que los estudiantes adquieran el conocimiento deseado al mismo tiempo que mejoran sus habilidades para resolver problemas y su competencia para el aprendizaje autodirigido. Simplemente proporcionar a los estudiantes un problema abierto no se considera verdadero PBL. El instructor debe guiar el proceso de aprendizaje y también llevar a los estudiantes a través de la reflexión y el análisis al final de la experiencia. Un ejemplo para un curso de Fabricación Aditiva podría ser:

- Explicar las capacidades, limitaciones y principios básicos de las diferentes tecnologías de Fabricación Aditiva.
- Evaluar y seleccionar las tecnologías de Fabricación Aditiva adecuadas para aplicaciones de diseño y fabricación específicas.
- Explicar las causas fundamentales de errores e irregularidades en las piezas fabricadas mediante Fabricación Aditiva.
- Aplicar técnicas de Fabricación Aditiva a un desafiante diseño y aplicación de fabricación.
- Identificar, explicar y priorizar algunos de los importantes desafíos de investigación en Fabricación Aditiva.

Un aspecto importante de la formación en el campo de la Fabricación Aditiva se refiere a las actividades prácticas. En este campo, los proyectos de trabajo en equipo tienen varios beneficios posibles. Por un lado, permiten a los aprendices experimentar directamente las diversas posibilidades de las tecnologías de FA. Además, consolidan el logro de los resultados de aprendizaje esperados a través de sesiones prácticas y el trabajo con datos y productos reales. Además, fomentan las habilidades de trabajo en equipo en entornos multiculturales y multidisciplinarios, ya que los cursos de FA comúnmente incluyen aprendices con diferentes antecedentes.

El siguiente ejemplo se refiere a una actividad de laboratorio y trabajo en equipo en el marco del curso " Additive Manufacturing for Space and Aerospace " impartido en el Politécnico de Milán. Se pidió a los estudiantes del curso que rediseñaran para la Fabricación Aditiva un componente real del espacio, el soporte que conecta las ruedas de reacción para el control de actitud del ION Cubesat Carrier, una nueva versión de una pequeña nave espacial diseñada originalmente por D-Orbit, una startup italiana (<https://www.dorbit.space/>) dedicada a la entrega y posicionamiento de satélites CubeSat en la última etapa de lanzamiento. Para esta versión de la nave espacial, D-

Orbit está trabajando directamente con la Agencia Espacial Europea (ESA), y su tecnología también se empleará en la iniciativa de ESA Clean Space para el servicio en órbita y la eliminación activa de desechos.

Todos los equipos fueron invitados a minimizar el peso del soporte rediseñado, cumplir con los requisitos mecánicos de la estructura (evaluación estática y análisis modal) y optimizar la fabricabilidad. El equipo ganador, compuesto por cuatro estudiantes, ganó la competencia al presentar un diseño que les permitió lograr la mayor reducción de peso (-65% con respecto al peso original del componente) cumpliendo con todos los requisitos mecánicos y de fabricabilidad. Al final del proyecto, los participantes participaron en un día de presentación final.

Como otro ejemplo, en el marco del curso de Máster en Fabricación Aditiva impartido en el Politécnico de Milán, los estudiantes llevan a cabo un proyecto en equipo en el que se les pide diseñar para la Fabricación Aditiva e imprimir con la técnica de Fused Deposition Modelling (FDM) piezas que deben cumplir con requisitos funcionales impuestos y maximizar una función objetivo dada. Dos ejemplos de proyectos en años anteriores incluyen la producción de coches de juguete que luego fueron probados durante una competencia entre todos los equipos (los coches debían recorrer la mayor distancia desde una rampa) o puentes que se sometieron a una competencia similar (los puentes debían soportar el mayor peso sin colapsar).

Todas estas actividades de proyectos permiten a los estudiantes aprender nuevas herramientas de software: para la optimización topológica, preparación de construcción, procesos, simulación, así como el uso de impresoras 3D, para aplicar la mayoría de los conceptos aprendidos en la práctica y experimentar los potenciales y limitaciones reales de los métodos de Fabricación Aditiva. La competencia tiene el beneficio de fortalecer el compromiso de los estudiantes y fomentar su interés en los temas de formación.

El software GRANTA EduPack es un recurso adecuado para que los estudiantes realicen proyectos y aprendizaje basado en problemas, ya que ofrece tanto una amplia fuente de información como herramientas de software como selección de materiales, auditorías ecológicas y otras herramientas de modelado para resolver problemas relacionados con los materiales. Estos proyectos pueden ser desde ejercicios cortos dentro de un curso introductorio (se proporcionan ejemplos en los recursos de enseñanza de GRANTA EduPack) hasta proyectos de diseño extensos de último año o incluso proyectos de investigación a nivel de máster (utilizando los datos en profundidad en la base de datos EduPack Nivel 3).

### 3.2.5 Casos de uso

Un estudio de caso es un relato de una actividad, evento o problema que contiene una situación real o hipotética e incluye las complejidades que se encontrarían en el lugar de trabajo. Los estudios de caso se utilizan para ayudar a los estudiantes a comprender cómo las complejidades de la vida real influyen en las decisiones. Analizar un estudio de caso requiere que los estudiantes practiquen la aplicación de sus conocimientos y habilidades de pensamiento a una situación real<sup>16</sup>. Para aprender de un análisis de estudio de caso, los estudiantes deberán estar "analizando, aplicando conocimientos, razonando y sacando conclusiones" (Kardos y Smith, 1979).

La inclusión de estudios de caso en la formación ha sido de gran importancia tanto para cursos a nivel universitario como para cursos para profesionales. Como ejemplo, en el marco del curso "Additive Manufacturing for Space and Aerospace" impartido en el Politécnico de Milán, se presentan estudios de caso de la vida real (principalmente del ámbito espacial y aeronáutico) una vez que el estudiante está completamente informado sobre todas las tecnologías actualmente disponibles, sus ventajas y desventajas, y los principales desafíos abiertos. El objetivo del curso es proporcionar al estudiante un enfoque de implementación industrial actual de la Fabricación Aditiva en productos

---

<sup>16</sup> <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

de alta calidad. Se muestran procesos de diseño/fabricación de extremo a extremo de verdaderas naves espaciales, satélites, cohetes o piezas de aviones. Comenzando con el diseño/optimización de topología (diseño biónico), pasando por la selección de la tecnología de Fabricación Aditiva ideal hasta la optimización de los parámetros del proceso, la caracterización mecánica (estática, fatiga, microestructura, NDI, tomografía computarizada, corrientes de Foucault, etc.) y la producción de un prototipo que será probado a escala real y luego enviado al espacio. Además, el curso proporciona estudios de caso y ejemplos de investigaciones de fallos en componentes reales.

### 3.2.6 Clases magistrales de expertos en FA

Los aspectos multidisciplinarios involucrados en la Fabricación Aditiva típicamente exigen la participación de expertos en diferentes campos que impartan conferencias sobre temas específicos. Este enfoque se ha seguido tanto en cursos de máster como en cursos para profesionales. Como ejemplo, el curso de Máster en Fabricación Aditiva impartido en el Politécnico de Milán prevé conferencias de docentes que son expertos en diferentes campos (procesos de fabricación, ingeniería de calidad y análisis de datos, metrología y mediciones, etc.), junto con seminarios impartidos por expertos invitados de la industria u otros grupos de investigación. Los seminarios son muy apreciados por los estudiantes, ya que permiten a los aprendices entrar en contacto con puntos de vista industriales, experiencias reales de implementación, desafíos y oportunidades. Los seminarios de expertos también son efectivos para mostrar la adopción actual de tecnologías de FA de vanguardia en la industria actual y su impacto en los aspectos de crecimiento societal y económico.

El curso " Additive Manufacturing for Space and Aerospace" impartido en el Politécnico de Milán representa un ejemplo diferente, ya que el curso es impartido íntegramente por Tommaso Ghidini, Jefe de la División de Estructuras, Mecanismos y Materiales de la Agencia Espacial Europea (ESA). En este caso, los estudiantes de máster tienen la oportunidad de ponerse en contacto con uno de los principales expertos de la Unión Europea en el campo, quien transmite su enfoque muy aplicado y práctico sobre temas y problemas relacionados con la Fabricación Aditiva a los aprendices. Como ejemplo, después de completar con éxito este curso, se espera que el estudiante sea capaz de:

- Identificar tendencias, tecnologías y metodologías clave relacionadas con la fabricación digital y aditiva para productos de alto valor agregado (Aplicar conocimientos).
- Desarrollar nuevas ideas y soluciones en negocios industriales emergentes. De hecho, la Fabricación Aditiva es uno de los campos más activos para nuevas soluciones, ideas innovadoras y start-ups (Aplicar conocimientos y tomar decisiones).
- Interactuar de manera profesional, responsable, efectiva y constructiva en un entorno de trabajo. El trabajo del proyecto permitirá que todos los estudiantes interactúen en un entorno multidisciplinario. De hecho, el equipo del proyecto incluirá a estudiantes de ingeniería en gestión, mecánica, diseño, automatización y física (Habilidades de trabajo en equipo y comunicación).

Además, en el marco de cursos sobre Fabricación Aditiva para profesionales (al menos para ingenieros y gerentes), comúnmente se imparten conferencias de diferentes expertos en sus campos específicos, que abarcan desde ciencia de materiales hasta procesos basados en láser y haz de electrones, diseño para la FA, control de calidad y pruebas de materiales, metrología, simulación, análisis de datos, costos del ciclo de vida, etc. Como ejemplo, el proyecto LILIAM - Lifelong Learning in Additive Manufacturing - (<https://www.liliam-project.polimi.it/>), es un equipo de ocho socios internacionales de diferentes países de la UE que se unieron para desarrollar un programa de formación continua para profesionales (ingenieros de productos y procesos y gerentes) que combina diversas áreas de especialización para proporcionar un camino de aprendizaje completo y multidisciplinario. LILIAM tiene como objetivo incluir conferencias sobre los siguientes temas: 1) Materiales para la fabricación aditiva, 2) Procesos de

fabricación aditiva, 3) Diseño y optimización de productos, 4) Modelado y simulación, 5) Monitoreo y control de procesos, 6) Postprocesamiento / procesos híbridos, 7) Control, calificación y certificación, estándares y derechos de propiedad intelectual, 8) Evaluación del ciclo de vida, costos del ciclo de vida, 9) Fin de vida y reciclaje de materiales.

### 3.2.7 Software de Simulación

El software de simulación permite diseñar la fabricación aditiva de una manera más predecible para reducir el enfoque de prueba y error, ahorrar costos y tiempo y permitir productos más innovadores. Existen varios productos de software para mejorar el diseño y el procesamiento en la Fabricación Aditiva. La Figura 6 muestra los productos de software más populares utilizados para la Fabricación Aditiva. Estos productos de software pueden aplicarse para simular el proceso de impresión, predecir distorsiones y compensarlas, mejorar la estrategia de soporte y predecir la precisión de la pieza, como ejemplos<sup>17</sup>.

Additive Works	Amphyon	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Adobe	Photoshop CC	3D design tools and color management
Altair Engineering	Inspire	Topology optimization
Altair Engineering	SIMSOLID	Meshless topology optimization
Altair Engineering	Inspire Print3D	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Autodesk	Project Shapeshifter	Browser-based tool for generating geometric shapes and exporting them for 3D printing
Autodesk	Within Medical	Lattice structures for orthopedic industry, porous coatings for implants
Dassault Systèmes	Tosca Structure	Topology optimization for FEA packages including Abaqus, ANSYS, and MSC Nastran
Desktop Metal	Live Parts	Generative design and topology optimization software
DTU	TopOpt	Topology optimization
e-Xstream	Digimat	Material simulation tool
GeonX	Virfac	Material and process simulation
GravitySketch	GravitySketch	VR-based modeling
MSC	Simufact	Metal AM build simulation
ParaMatters Inc.	CogniCAD 2.0	Topology optimization
PTC	GENERATE	Topology optimization
Siemens	NX	High-end CAD that integrates topology optimization, lattice structures, and support generation

Figura 6: (Izquierda) Empresa, (Centro) nombre de software y (Derecha) descripción del software (Wohlers Report 2021).

### 3.2.8 Videos y animaciones educativas

Los videos y las animaciones educativas son herramientas utilizadas como apoyo visual para facilitar el aprendizaje. Son utilizados por los educadores para hacer el contenido atractivo, fácil de entender y emocionalmente accesible para todo tipo de estudiantes. Estos recursos permiten explicar ideas complejas de una manera sencilla. Mantiene a los estudiantes enfocados en el contenido y crean una experiencia distinta que los estudiantes probablemente recordarán<sup>18,19</sup>.

Existen varios ejemplos de videos y animaciones educativas en la web que explican los procesos de fabricación aditiva en diferentes niveles de complejidad, como videos introductorios (<https://www.youtube.com/watch?v=EHvO-MlZAIM> de GE Additive, <https://www.youtube.com/watch?v=qoBU0r7pT84> de Bracken Media, <https://www.youtube.com/watch?v=t4S0mKjXtT4> de Additive Manufacturing Media) o videos y animaciones más específicos relacionados con un proceso en particular, como la Fusión de Polvo por Láser (<https://www.youtube.com/watch?v=VqjtuFxGio4> de SLM Solutions NA, Inc) de SLM Solutions NA, Inc (<https://www.youtube.com/watch?v=sUjyKOilhgw> de Protolabs).

<sup>17</sup> <https://fluidcodes.com/software/additive-manufacturing-simulation/>

<sup>18</sup> <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

<sup>19</sup> <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>

### 3.3 Resumen de las herramientas de aprendizaje

Como se ha mostrado en las subsecciones 3.2.1. hasta 3.2.6., se pueden aplicar diferentes herramientas de aprendizaje para la formación en Fabricación Aditiva. El tipo de herramienta de aprendizaje depende de las características específicas del curso. En la tabla 4 se presenta un resumen de recomendaciones, así como restricciones y sus posibles evaluaciones.

Tabla 4: Recomendaciones para aplicar herramientas de aprendizaje en la formación para fabricación aditiva.

Tipo de herramienta de aprendizaje	Ventajas	Limitaciones	Recomendaciones para su aplicación en la formación para FA	Evaluación
<b>Fábrica de enseñanza</b>	Experiencias de aprendizaje práctico. Acercan la industria al mundo académico. Enseñanza práctica.	Depende en gran medida de la infraestructura.	Deben utilizarse en conjunto con otras actividades de aprendizaje "tradicionales".	Problem-based; trabajo en grupo
<b>Serious games</b>	Resolución de problemas, diversión, En línea con la digitalización.	Sin experiencia práctica.	Complementario a otras actividades de enseñanza como clases en el aula y laboratorios.	Práctico, entrevista.
<b>Realidad aumentada</b>	Aprendizaje de proceso en línea	Actualmente solo disponible para algunos procesos y variables. Sin experiencia práctica. Virtual.	Debería utilizarse en conjunto con otras actividades de aprendizaje "tradicionales" o con una fábrica de enseñanza.	Práctico, entrevista.
<b>Project (Project based learning (PBL))</b>	Puede llevarse a cabo junto con la formación. Los estudiantes pueden ver toda la cadena de procesos. Es igualmente valioso para todas las personas. Tamaños de proyecto fácilmente ajustables.	Tendrá que ser desarrollado para todo el curso.	Muy recomendado, ya que las personas pueden aprender mediante el aprendizaje práctico y la aplicación de la cadena de procesos de impresión 3D.	Individual; entrevista
<b>Casos de uso</b>	Permite implementar el conocimiento adquirido.	Dependiendo del caso de estudio, la experiencia práctica podría estar ausente.		Informe: problem based.
<b>Clases magistrales</b>	Fácil de obtener una visión general del conocimiento de todos	Sin experiencia práctica. Dirigido principalmente a	La documentación de los materiales de trabajo está disponible.	Test, informe, entrevista.

	los estudiantes. Cara a cara. Más accesible en el enfoque.	estudiantes o alumnos.		
<b>Software de simulación</b>	Utilizado en simulaciones de FA, los estudiantes obtienen experiencia práctica al realizar ejercicios de simulación establecidos y pueden hablar con los entrenadores para recibir orientación.	Los estudiantes necesitan alcanzar el mismo nivel para poder practicar simulaciones y tener acceso a las herramientas.		Q&A, ejercicios prácticos
<b>Actividades prácticas</b>	Experiencias de aprendizaje práctico. Necesita combinarse con el aula.	Se requiere equipo, software o materiales.	Necesita combinarse con una actividad de clase magistral u otras formas de enseñanza.	Problem based; trabajo en grupo; práctico.
<b>Trabajo en grupo</b>	El aprendizaje cooperativo permite que los estudiantes desarrollen habilidades como resolución de problemas, negociación, manejo de conflictos, liderazgo, pensamiento crítico y gestión del tiempo.	Requiere mucho tiempo.	Es apropiado para exponer a los estudiantes a ideas y enfoques diversos.	Problem based, práctico y teórico
<b>Videos y animaciones educativas</b>	Excelente para explicar contenido complejo. El aprendizaje emocional aumenta la retención y capta la atención de los estudiantes.	Las animaciones personalizadas son costosas en términos de recursos.	Complementario a otras actividades de enseñanza como clases en el aula y laboratorios.	Práctico, entrevistas

### 3.4 Actividades de proyectos europeos que respaldan el aprendizaje y la formación en Fabricación Aditiva

Varios proyectos europeos han sido aprovechados para ayudar en el desarrollo de habilidades sectoriales para la Fabricación Aditiva, tanto en un contexto fundamental como de orientación. Esta sección cubre una lista de proyectos que representan un esfuerzo significativo y relevante, pero no es exhaustiva en su alcance. Una lista adicional puede encontrarse en el AM Observatory, desde 2019 ([https://skills4am.eu/amobservatory\\_projects.html](https://skills4am.eu/amobservatory_projects.html)).

**Admire (Alliance for aDditive Manufacturing between Industry and univeRsitiEs):** Admire fue una alianza entre empresas de Fabricación Aditiva, universidades y estudiantes que respondió a una necesidad industrial: la cualificación de los trabajadores en FA. Se desarrolló un Máster Europeo en Fabricación Aditiva de Metales, que se ajusta al nivel 7 del Marco Europeo de Cualificaciones.

<https://admireproject.eu/summary.html>

**3D Prism:** 3D Prism ha desarrollado un "Massive Open Online Course (MOOC)" que está disponible para uso público. El curso cubre aspectos básicos y diferentes tecnologías de Fabricación Aditiva, materiales, parámetros de proceso, herramientas de CAD/CAM y temas de mantenimiento. El curso está disponible en línea para cualquier persona y el conocimiento será evaluado a través de cuestionarios (quizzes)

<https://versal.com/c/jppgwv/3dprism-mooc>

**Metals – MachinE Tool Alliance for Skills.** El proyecto de metales se centró en la preparación de habilidades necesarias para un Operador de Fabricación Aditiva en el Nivel 5 del Marco Europeo de Cualificaciones (EQF). Se ha desarrollado un curso en línea que proporciona un plan de estudios para tres sectores diferentes. En primer lugar, unidades de FA, que cubren todos los aspectos del proceso de fabricación aditiva, desde el diseño hasta el postprocesamiento. En segundo lugar, unidades orientadas a los procesos de trabajo, en las cuales se proporcionarán habilidades que van desde la adquisición de contratos hasta habilidades de mantenimiento. En tercer lugar, unidades de emprendimiento, en las cuales se cubren temas de marketing, liderazgo y otros aspectos relevantes. La evaluación de las habilidades se lleva a cabo mediante una prueba en línea, en la cual se requiere que al menos el 80% de las respuestas sean correctas.

### **3DP – Training in 3D Printing to Foster EU Innovation & Creativity**

Esta iniciativa europea ha proporcionado pautas escritas sobre temas de cursos cortos, directrices para formadores, material del curso y casos de estudio con el fin de mejorar con éxito las habilidades de los estudiantes. Además, se ha desarrollado una plataforma de aprendizaje en línea sobre impresión 3D, disponible en 6 idiomas.

<https://3d-p.eu/>

### **CLLAIM – Creating Knowledge and Skills in AM – actualmente en marcha**

CLLAIM se preocupa por desarrollar un sistema de calificación en Fabricación Aditiva mediante el establecimiento de un organismo de calificación, diferentes calificaciones para diferentes roles, paquetes de formación innovadores, modelos de Reconocimiento de Aprendizaje Previo y un kit pedagógico para formadores centrado en metodologías de aprendizaje basadas en el trabajo.

<http://cllaimprojectam.eu/>

### **PAM2 – Precision Additive Metal Manufacturing – actualmente en marcha**

PAM2 tiene como objetivo mejorar drásticamente la precisión de los procesos de fabricación aditiva de metales abordando los tres principios de robustez, previsibilidad y metrología, y desarrollando métodos de ingeniería asistida por computadora (CAE) que potencien en lugar de limitar el diseño en Fabricación Aditiva. El proyecto ha proporcionado una gran cantidad de recursos de investigación, ya que abarca 15 proyectos de investigación interconectados para Investigadores en Etapa Temprana (Early Stage Researchers). Además, se ha desarrollado una serie de videos en YouTube para guiar a las personas interesadas a través del proceso de modelado de optimización topológica en Fabricación Aditiva.

<https://pam2.eu/>

## Proyectos de EIT Manufacturing:

**EIT-AddManu:** EIT-AddManu desarrollará una "Fábrica de Enseñanza de FA" en línea en la que se proporcionarán fragmentos de aprendizaje para la enseñanza de Fabricación Aditiva en educación académica superior e industrial. La plataforma incluirá herramientas de diseño, evaluación de sistemas de Fabricación Aditiva adecuados y la selección del material adecuado para un producto. <https://eitmanufacturing.eu/additive-manufacturing-teaching-factory/>

**LILIAM:** Aprendizaje Permanente en Fabricación Aditiva - actualmente en marcha. LILIAM tiene como objetivo desarrollar una cualificación de formación europea para diferentes perfiles profesionales, incluyendo especialistas, ingenieros y gerentes, en el campo de la Fabricación Aditiva. Los módulos de formación, que combinarán enfoques de enseñanza tradicionales e innovadores, son diseñados por una red internacional de socios de 8 países europeos, coordinados por el Departamento de Ingeniería Mecánica del Politecnico di Milano. <https://www.liliam-project.polimi.it/>

## 4 Guía operativa de SAM sobre contextos y las herramientas de formación

### 4.1 Ejemplos de contextos y herramientas de aprendizaje de los socios de SAM

Para proporcionar una idea de cómo se integran los contextos y herramientas de aprendizaje en la formación educativa, se presentarán aquí dos ejemplos.

#### 4.1.1 LORTEK

##### 4.1.1.1 Introducción

Desde 2018, Lortek y Goierri Eskola ofrecen un Máster en Fabricación Aditiva. Lortek es un centro tecnológico privado y miembro de la Alianza Vasca de Investigación y Tecnología (BRTA, Basque Research and Technology Alliance). El centro está especializado en tecnologías de unión para materiales. Goierri Eskola es un centro de enseñanza pluralista y participativo que tiene como objetivo a estudiantes que han terminado la educación obligatoria en España. El máster está dirigido a graduados en ingeniería mecánica e ingenieros técnicos. También está dirigido a graduados en física e ingeniería química. Además, se admitirán técnicos con una experiencia laboral de tres años o más después de una cuidadosa evaluación de conocimientos (Reconocimiento de Aprendizaje Previo, RPL). El curso tiene una duración de 1165 horas, se divide en doce módulos y dura un semestre completo. Además, se ofrece un curso corto en el que no se requiere escribir una tesis. Sitio web: <https://www.mondragon.edu/cursos/es/tematicas/ingenieria-mecanica-procesos-fabricacion/master-en-fabricacion-aditiva-industrial.>

##### 4.1.1.2 Clases magistrales

La enseñanza se lleva a cabo de forma presencial, en actividades de enseñanza y formación presentes. Cada módulo se dividirá en laboratorios y actividades de enseñanza para fomentar también las habilidades de aprendizaje práctico. En los diferentes módulos, se enseñarán diferentes aspectos de la fabricación aditiva con un fuerte enfoque en la FA de metales práctica. Todos los diferentes módulos se pueden considerar como unidades de competencia que también podrían impartirse de forma individual. La fase presencial ocupa 265 horas.

- M1 - Introducción a la Fabricación Aditiva y aspectos económicos (PDF)
- M2 - Diferentes tecnologías en la Fabricación Aditiva (PDF y demostración)
- M3 - Consideraciones de diseño, elementos y herramientas (Software)

- M4 - Desarrollo de productos en Fabricación Aditiva de metales: tipos de materiales, procesamiento y optimización (PDF)
- M5 - Desarrollo de productos en Fabricación Aditiva de polímeros: tipos de materiales, técnicas de procesamiento y optimización (PDF)
- M6 - Fabricación de productos de FA de metales: defectos y post-procesamiento (PDF y práctico)
- M7 - Fabricación de productos de FA de polímeros: defectos y post-procesamiento (PDF y práctico)
- M8 - Otros materiales (PDF)
- M9 - Industrialización de la cadena de proceso de la Fabricación Aditiva (PDF)
- M10 - Actividades prácticas (Prácticas en Goierri y Lortek)
- M11 - Tesis de Máster/Trabajo Fin de Máster

También se pueden acceder a cursos cortos o unidades de competencia que tienen como objetivo mejorar el conocimiento en un área específica de la Fabricación Aditiva. Los siguientes cursos cortos están disponibles:

- FA para procesos de fundición, 12 horas.
- FA de plásticos y compuestos para profesionales, 12 horas.
- FA de metales para profesionales, 18 horas.
- Diseño de FA para profesionales, 30 horas.

#### 4.1.1.3 Casos de uso

Durante el semestre, los estudiantes tienen seis meses para desarrollar un producto para el cual se darán requisitos básicos, como la descripción del producto y sus características (aprendizaje basado en proyectos). El resultado de este proyecto es el rediseño de un producto que ha sido examinado a lo largo de toda la cadena de proceso hacia la industrialización. Los estudiantes evaluarán aspectos económicos, así como aspectos de producción y diseño, y además elegirán la tecnología y el material. El resultado es un informe de 70/80 páginas en el que se explican la razón y los pasos del desarrollo del producto. Cada año se elige una nueva parte. El caso de uso está programado para 400 horas.



Figura 7: Dron original con brazos a rediseñar.



Figura 8: Dron rediseñado por los estudiantes del master en FA.

El curso completo incluye la redacción de una tesis de máster para la cual se han proyectado 500 horas y durará tres meses. El proyecto de máster debería idealmente ser desarrollado por el estudiante en conjunto con la empresa en la que están trabajando actualmente (con enfoque en una organización de I+D o una empresa industrial). Esto asegura que se tenga proximidad a un entorno de trabajo de la vida real. La tesis debe llevarse a cabo utilizando recursos de software avanzados y también fácilmente disponibles para que los estudiantes se familiaricen con ellos. Los recursos de software incluyen lo siguiente (2020):

- GRANTA EduPack: software para selección de materiales de GRANTA
- Plataforma 3DExperince
- Software específico para diseño (SOLIDWORKS, CATIA)
- Optimización topológica (Altair INSPIRE)
- Simulación FEM (Dassault Systemes ABAQUS)
- Edición (Markforged EIGER, Materialise Magics)

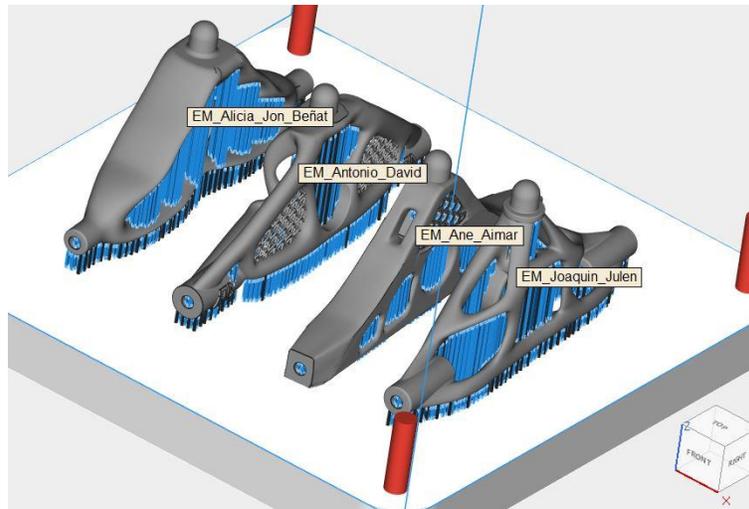


Figura 9: Diferentes diseños del eje de un patinete.

#### 4.1.1.4 Serious Games

Como el curso está dirigido a estudiantes de educación superior, los “serious games” no forman parte del entorno de enseñanza. Sin embargo, se anima a los estudiantes a descargar la aplicación AM-Motion para poner a prueba sus conocimientos en Fabricación Aditiva.

#### 4.1.1.5 Fábrica de Enseñanza

Lortek o Goierri Eskola no son consideradas fábricas de enseñanza. Sin embargo, la red entre los socios industriales, la investigación (Lortek) y Goierri (Universidad), y el enfoque en proyectos industriales pueden considerarse una fábrica de enseñanza.

#### 4.1.1.6 Realidad Aumentada

Actualmente, la Realidad Aumentada no se aplica durante el curso de máster en Fabricación Aditiva. Se está considerando implementar simuladores de soldadura, sin embargo, actualmente todas las prácticas de soldadura se llevan a cabo en tiempo real.

## 4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH

### 4.1.2.1 Curso de formación: Especialista en Procesos de Fabricación Aditiva – Metal

LZH Laser Akademie GmbH es uno de los principales centros de formación en tecnología láser aplicada en Alemania.

Junto con SLV Hannover, LZH Laser Akademie fue la primera institución en Alemania en ofrecer un nuevo curso de formación avanzada certificado para "Especialista en fabricación aditiva - Metal" desde 2016. La duración del curso es de una semana y concluye con un examen.

La formación avanzada para convertirse en Especialista en Procesos de Fabricación Aditiva - Metal abarca un nivel de competencia desde ingenieros y operadores. Está dirigida a trabajadores cualificados, maestros artesanos y técnicos calificados que son o serán responsables de la operación de sistemas de fusión de haz láser selectiva y también se recomienda para ingenieros, diseñadores y gerentes de producción que deseen obtener conocimientos básicos y completos de las posibles aplicaciones en producción.

El curso imparte un conocimiento integral de los principios y parámetros del proceso, así como de los pasos individuales en la producción de componentes a lo largo de la cadena de procesos.

Para obtener más información, puede visitar el sitio web en alemán de LZH Laser Akademie: <https://www.lzh-laser-akademie.de/de/seminare/lasermaterialbearbeitung/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren-metall/>

#### **Estructura del curso:**

Los cursos tienen una duración de 40 horas de contacto, incluyendo la evaluación, y se llevan a cabo a tiempo completo durante cinco días.

El curso se realiza en forma de entrenamiento presencial en aulas y laboratorios. Las lecciones son impartidas por expertos y se dividen en unidades teóricas y prácticas.

Las metodologías utilizadas en el aula son una combinación de conferencias apoyadas por presentaciones y casos de estudio para enseñar las bases teóricas y profundizar en lo aprendido. La formación práctica ocupa aproximadamente la mitad de la duración del curso (aproximadamente 17,6 horas) y se lleva a cabo como una combinación de demonstraciones en el taller y unidades prácticas, que se basan en y profundizan en las unidades teóricas. Este procedimiento permite a los participantes probar directamente en la práctica el conocimiento adquirido teóricamente bajo la guía de expertos.

La combinación de conferencias, estudios de casos, formación práctica y teórica es ideal para la transferencia de conocimientos en: manejo de software para preparación de piezas y trabajos, preparación de la máquina, inicio y seguimiento del trabajo de construcción, retirada y post-procesamiento de piezas después del trabajo de construcción, aseguramiento de la calidad/inspección de piezas.

#### **Objetivos de conocimiento y habilidades:**

- Conocimiento sobre procesos generales de fabricación aditiva y materiales (todos los materiales).
- Conocimiento detallado sobre procesos de fabricación aditiva de metal.
- Conocimiento detallado sobre los procesos PBF-LB y DED-LB (materiales, sistemas de máquinas, software, postprocesamiento, realización de trabajos de construcción con la cadena de procesos completa por parte de los asistentes).

- A través del seminario para operadores, se adquiere un conocimiento profundo sobre los procesos de fabricación aditiva de metal. El entrenamiento para ingenieros y operadores avanzados tiene como objetivo proporcionar un conocimiento básico sobre los procesos de fabricación aditiva y un conocimiento profundo sobre los procesos de fabricación aditiva de metal, así como experiencia en la realización de procesos PBF-LB (qué se debe hacer, qué errores pueden ocurrir y qué se debe hacer para corregirlos). Desde nuestro punto de vista, los métodos son bastante exitosos para alcanzar los objetivos de los seminarios.

### **Evaluación**

La evaluación se lleva a cabo en el quinto día de la formación. Se confirma el conocimiento adquirido en todos los contextos de aprendizaje a través de exámenes escritos y orales. Con una participación exitosa, se obtiene el certificado "Especialista en procesos de fabricación aditiva - Metal".

### **Valoración**

Para cerrar el seminario, se realiza una valoración de la formación mediante un cuestionario anónimo.

## **4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR)**

### **4.1.3.1 Realidad Aumentada**

El IMR ha desarrollado junto con otras 9 empresas una herramienta de realidad aumentada llamada XR-adopt. Esta herramienta se puede utilizar para capacitar al personal.



Se han realizado avances masivos en pantallas digitales, procesamiento de imágenes, detección de movimiento, visión por computadora y seguimiento de objetos. Todos estos avances técnicos combinados han resultado en el desarrollo de múltiples configuraciones de XR (realidad extendida), ampliamente capaces y precisas, a una fracción del costo histórico.

La comunidad de creadores digitales y posibles usuarios de XR también ha crecido a una tasa exponencial. El resultado es la creación de múltiples proveedores de software y hardware, un mercado mucho más grande, nuevas inversiones y tuberías de desarrollo de software simplificadas en gran medida.

Una empresa enfrenta múltiples desafíos al adoptar la tecnología XR. En un panorama en constante cambio con proveedores que se unen y abandonan el espacio, iteraciones constantes de hardware y software y endosos no probados a nivel corporativo o empresarial, las empresas no tienen los recursos para evaluar muchas de estas opciones ni adquirir experiencia para tomar decisiones informadas.

A pesar de lo anterior, la tecnología XR ha demostrado ofrecer un enorme valor en una amplia gama de casos de uso. XR-Adopt es una colaboración de 9 empresas, cada una compartiendo casos de uso desafiantes para los cuales XR ofrece una solución rentable. Los resultados son aplicables a una proporción significativa de la industria irlandesa.

#### 4.1.4 IDONIAL

##### 4.1.4.1 Serious games

Idonial desarrolla la aplicación AM-Motion, que incluye un cuestionario que permite poner a prueba el conocimiento de los usuarios en FA. La Figura 10 muestra algunas capturas de pantalla de la aplicación que muestran la información incluida y un ejemplo del cuestionario.

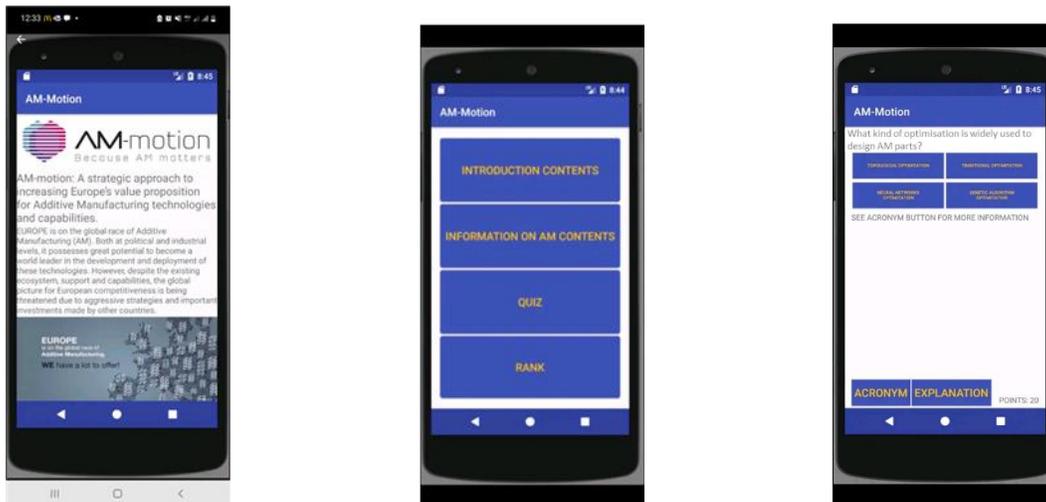


Figura 10: Capturas de pantalla de la app de AM-Motion desarrollada por Idonial.

#### 4.1.5 Software educacional - Granta EduPack

GRANTA EduPack es un conjunto único de recursos de enseñanza y software que respaldan la educación en materiales en Ingeniería, Diseño, Ciencias, Desarrollo Sostenible y FA. Proporciona una base de datos completa de información sobre materiales y procesos, incluyendo FA, procesamiento y análisis de datos (gráficos Ashby) y una variedad de recursos de apoyo, como conferencias, proyectos y ejercicios. GRANTA EduPack está dividido en tres niveles para que los estudiantes accedan a un nivel adecuado de información sobre materiales a medida que avanzan en sus estudios, es decir, desde estudios preuniversitarios hasta cursos de postgrado. Se utiliza en diferentes circunstancias para enseñar temas relacionados con los materiales en FA: a veces en laboratorios de computadoras bien equipados, otras veces en estudios autodirigidos utilizando la propia computadora portátil del estudiante. Puede estar integrado fundamentalmente en los planes de estudio y ser una herramienta esencial para los estudiantes en cada año académico, o simplemente puede ser utilizado como recurso de datos y forma de crear conferencias excelentes con gráficos claros y atractivos para ilustrar conceptos.

En el software, hay ideas sobre cómo utilizar la base de datos de elementos para ilustrar tendencias y relaciones entre las propiedades de la tabla periódica; cómo se pueden utilizar gráficos de burbujas simples de Módulo de Young vs. Densidad para ayudar a los estudiantes a comprender las diferentes familias de materiales y qué factores (por ejemplo, enlace y estructura cristalina) afectan sus propiedades. Los estudiantes pueden hacer clic para acceder a Notas Científicas que refuerzan la teoría e incluyen referencias a textos estándar. Temas como los diagramas de fase y la cristalografía se pueden abordar utilizando herramientas interactivas en la nueva edición MS&E (Materiales, Ciencia e Ingeniería) de GRANTA EduPack. También se pueden ilustrar fácilmente el tratamiento térmico y otras formas de manipular las propiedades de los materiales. Luego, los estudiantes pueden seleccionar materiales para un proyecto basándose en estas propiedades, desarrollando una perspectiva sobre cómo la ciencia fundamental se traduce en aplicaciones de ingeniería reales.

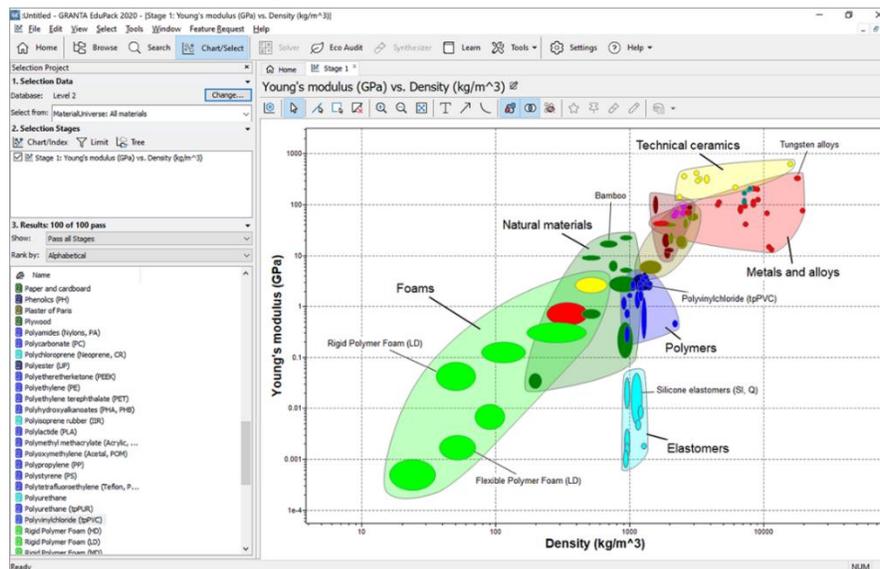


Figura 11: Captura de pantalla de Granta EduPack

Varios enfoques de enseñanza son aplicables al utilizar el software Granta EduPack para enseñar y aprender sobre materiales, con un número creciente de recursos dedicados a materiales y procesos específicos de la fabricación aditiva:

**Enfoque dirigido por el diseño:** En este enfoque, el estudiante comienza con un desafío de diseño. El software le permite identificar las familias de materiales que mejor satisfacen los requisitos del diseño. Luego, pueden explorar por qué diferentes materiales tienen diferentes rendimientos, "profundizando" en los recursos de información de EduPack para obtener más información sobre la ciencia subyacente.

**Enseñanza en el aula:** Se proporcionan unidades de conferencias listas para usar en PowerPoint y cuadernillos de ejercicios asociados. Se pueden crear gráficos de propiedades de materiales personalizados para ilustrar puntos particulares y copiarlos en PowerPoint o guardarlos como un archivo de proyecto y abrirlos dentro del software para que puedas anotar el gráfico en tiempo real durante tu clase. El software también se utiliza como base para ejercicios cortos y prácticos para los estudiantes durante las sesiones en el aula o como "tarea". Los recursos de enseñanza de EduPack proporcionan tales ejercicios. Los estudiantes pueden investigar materiales y crear informes o carteles para demostrar su aprendizaje.

**Aprendizaje basado en proyectos/Project-based learning:** El software proporciona apoyo para proyectos de los estudiantes, tanto como un recurso completo de información, como utilizando sus herramientas de selección de materiales, auditoría ecológica y otros modelos para resolver problemas relacionados con materiales. Estos proyectos pueden ser desde ejercicios cortos dentro de un curso introductorio (se proporcionan ejemplos en los recursos de enseñanza de GRANTA EduPack) hasta proyectos de diseño extensos en el último año de estudio o incluso proyectos de investigación a nivel de máster (utilizando los datos detallados de la base de datos de EduPack Nivel 3).

**Aprendizaje basado en problemas/Problem-based learning:** A medida que los estudiantes utilizan el software para resolver problemas de diseño o relacionados con materiales, pueden profundizar fácilmente en la información que explica los principios de ingeniería y científicos detrás de las propiedades y materiales que están investigando. Esta capacidad es ideal para enfoques basados en problemas, donde se anima a los estudiantes a ampliar su conocimiento del tema al explorar problemas y conceptos que surgen al abordar un problema específico.

**Autoaprendizaje:** La inscripción y las licencias de GRANTA EduPack en todo el campus en toda Europa permiten que cada estudiante del curso participante instale el software en su propia computadora portátil o PC. Esto significa que GRANTA EduPack puede ser una poderosa herramienta de ayuda para el aprendizaje a distancia y otros cursos que requieren que los estudiantes realicen una parte sustancial de su aprendizaje de forma remota o en su tiempo libre. Se proporcionan amplios recursos para estudiantes, incluyendo folletos de "Autoaprendizaje", glosarios y estudios de caso.

## 4.2 Metaanálisis de los estudios piloto y encuestas realizadas en el proyecto SAM

### 4.2.1 Estudios piloto

Como se mencionó en la introducción, durante el proyecto SAM se llevaron a cabo diferentes cursos piloto para profesionales que fueron revisados o introducidos. Esta sección se centra en la integración de los contextos y herramientas de aprendizaje mencionados anteriormente y ayuda a comprender cuáles han sido utilizados con más éxito que otros. Debido a que la crisis de COVID-19 golpeó justo al comienzo de la fase piloto, la mayoría de los cursos piloto se entregaron en línea. Los miembros indicaron que estos cursos habrían sido impartidos normalmente con una parte teórica y práctica. Durante la 1ª y 2ª etapa de los pilotos, se llevaron a cabo 29 cursos piloto, 17 en la primera etapa y 12 en la segunda etapa, respectivamente. En la primera etapa se implementaron los 12 CUs que completan el Perfil Profesional de Ingeniero de Procesos por parte de los socios de SAM. Hubo una distribución equitativa entre la implementación de los diferentes CUs por parte de los socios. Además, se impartieron 3 CUs de materiales y 2 CUs correspondientes al perfil profesional de diseñador de FA de metal. Los siguientes socios organizaron e implementaron estas 17 actividades de piloto en la primera etapa: LORTEK, ANSYS GRANTA, AITIIP, FA, IMR, LMD, EC Nantes, MTC, POLIMI, ISQ, UBRUN, EPMA, IDONIAL. Un total de 732 estudiantes participaron en esta etapa piloto inicial.

De estas actividades de implementación de pilotos, se registró información detallada sobre el contexto y las herramientas de capacitación que se utilizaron. Vale la pena mencionar que muchas de estas actividades piloto se llevaron a cabo en el primer semestre del año 2020, cuando hubo un bloqueo general en los países europeos.

El análisis en términos de herramientas y contextos de aprendizaje empleados se repitió para la segunda ronda de estudios piloto. En este caso, se completaron 10 actividades piloto por diferentes socios, incluidos UBRUN, ISQ, MTC, LAK, LMS, FA, AITIIP, IDONIAL, ECNANTES, POLIMI, LORTEK e IMR. En total, 261 estudiantes participaron en esta segunda etapa. En este caso, se seleccionaron las nuevas CUs creadas para el Perfil Profesional de Diseñador de

Polímeros, así como dos nuevas unidades de competencia relacionadas con la certificación y normalización y el negocio.

Competence Unit	Organizer
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support: Granta)
CU 01: DED-Arc Process	AITIIP
CU 08: DED-LB Process	FA
CU 15: PBF-LB Process	IMR
CU 25: Post Processing	LMS
CU 34: Process selection	EC Nantes
CU 35: Metal AM integration	AITIIP
CU 36: Coordination activities	MTC
CU 43: Production of PBF-LB parts	POLIMI
CU 44: Conformity of PBF-LB parts	POLIMI
CU 45: Conformity of facilities featuring PBF-LB	ISQ
CU 26: Introduction to materials (optional)	UBRUN/Granta
CU 27: AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	EPMA
CU 30: AM with Nickel feedstock	EPMA
CU 31: AM with Titanium feedstock	Lortek
CU61 (should be done if possible): Simulation Analysis	Idoniq
CU62: Simulation Execution	Granta

Competence Unit	Organizer	Mode of training
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	UBRUN (support: Granta)	
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	ISQ	
CU 66 - Designing Polymers AM Parts	MTC (support: AITIIP)	
CU 67 - Post Processing for Polymers	LAK	
CU 68 - Design for Material Extrusion	LMS	
CU 68 - Design for Material Extrusion	FA	
CU 69 - Design for PBF Polymer	LMS (support: AITIIP & IDONIAL)	
CU 64 - Business for Additive Manufacturing	EC Nantes (support: POLIMI)	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation	LORTEK	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation	IMR (support: MTC)	

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Organizer	Mode of training	Participants (including number of attendees, age range, profession, etc)	Training context	Training tool kits		
				Description of the context used in training (e.g. classroom, Lab, etc)	Training tools (Description of the training tools (e.g. lecturing, project, case study, etc))	Practical exercises (if it is used)	Restrictions & Difficulties (Description of any limitation preventing to use specific training tool)
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support: Granta)	presential	16 Participants, 20-35 age range, 3 Women, 13	Classroom teaching over a few days.	The pilot was carried out by several experts in their area of expertise. The presentations were given in form of lecturing.	Practical exercises were only performed in terms of showing parts manufactured in the different (if applicable) technologies.	technologies, it is very difficult to provide practical tools as most companies have maybe only a few in-house.
CU 01: DED-Arc Process	AITIIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 5 days.	Presentations, peer instruction, KRAKEN example (AITIIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training.	This CU is very long and was complicated to students to maintain focused all the training
CU 08: DED-LB Process	FA	Online	11 Participants, five: < 26 age range, three: 26-35 age range, 2 Women, 6 Men, at Portugal all	3 days online course	Lecturing	No	the duration of the course per day and some changes that were performed due to COVID-19.
CU 15: PBF-LB Process	IMR	Online	60 Participants 95% of participants were male. 53% were between the ages of 26 and 35. 50% of all attendees were working in the Health Industry. 95% of attendees had a Bachelor's or Master's degree.	4 days online course	Lecturing	No	Due to COVID 19 The course was too theory heavy and this is not relevant to industry where expertise in practice is vital. Contact was also limited because of current restrictions preventing face-to-face. Online content should be reviewed multiple times to reinforce theory.
CU 25: Post Processing	LMS	on line	21 participants, 26-35 age range, students and professionals, 1 at Belgium, 4 at Greece, 3 at Portugal, 3 at India, 1 at Turkey, and 1 at Nigeria.	On line course separated in 2 days	Lecturing	No	No practical exercise was done due to on line mode of the course
CU 34: Process selection	EC Nantes	on line	13 Master students in industrial engineering - gender: 92% male & 8% female age range: all <35 years old Origin: France, Italy, China, Iran, India	On line classroom	Lecturing - Providing some case studies Hands on experience	Perform cost estimation to compare a traditional manufacturing route (injection molding) with layer manufacturing processes (Stereolithography SL, Fused deposition modelling FDM and Laser sintering LS) in terms of the unit cost for parts made in various quantities. Students were given necessary information to solve a case study including: Assumptions (e.g. AM machines specifications, etc.), The cost model equations, and Requirement for the cost estimation for different AM process including SL, FDM and LS.	Restriction on the use of team working and group discussion activities prevented practicing decision-making skills, mostly for case study analysis. Impossibility to use some practical training tools required to demonstrate the AM technologies and processes
CU 35: Metal AM integration	AITIIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
CU 36: Coordination activities			35 participants, 87% male, 13% female. 20% <25 yrs old, 43% 26-35, 33% 36-55, 3% >55	10 lecture sessions undertaken in one	Powerpoint presentations supported by		requested; less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical /discussive elements preferred. Clarification to the assessment questions

Figura 12: Datos recopilados de los estudios piloto completados en la primera etapa. En la parte superior, se encuentra la lista de Unidades de Competencia (CUs) pilotadas por diferentes socios.

En general, la enseñanza teórica consistió en una revisión general de los procesos aplicados e información detallada sobre el proceso de fabricación aditiva, sus ventajas y desventajas.

En cuanto al elemento práctico de los pilotos, los asistentes debían crear un producto utilizando técnicas de FA. En los pilotos de las CU68 **Design for Material Extrusion** y CU69 **Design for PBF Polymers**, se les pidió a los asistentes que crearan un soporte para teléfono móvil utilizando procesos de FA.

Durante el entrenamiento y para aumentar la interacción y participación de los alumnos, se realizaron encuestas en vivo utilizando plataformas como Slido, ¡Kahoot! y otras, con el objetivo de mejorar el compromiso de los estudiantes en línea, brindando oportunidades para aprender más y aumentar la comunicación con los formadores, así como mejorar la toma de decisiones sobre el diseño y acabado de los productos que se estaban creando. Las encuestas pueden utilizarse tanto en entornos de aprendizaje presenciales como en línea.

## 4.2.2 Análisis Sistemático

Se ha realizado un análisis sistemático basado en la metodología desarrollada en WP3 para apoyar la implementación de cursos de formación en FA, con el fin de monitorear la calidad de las actividades piloto y extraer conclusiones y detectar áreas de mejora potenciales. Se pidió a todos los socios que lideraron la implementación de cada actividad piloto que completaran la siguiente plantilla para completar este análisis sistemático. El análisis se realizó en función de las cuatro categorías de habilidades abordadas en el proyecto SAM, a saber: habilidades tecnológicas, verdes, digitales y empresariales.

Las "Habilidades Tecnológicas" se definen como "Capacidad para aplicar conocimientos y utilizar know-how para completar tareas y resolver problemas" [dentro de actividades específicas]" (Adaptado de CEDEFOP 2008).

<https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/validation-non-formal-and-informal-learning/european-inventory/european-inventory-glossary#S>

Ejemplos de habilidades relacionadas con la Fabricación Aditiva: *Procesos de FA; Modelado Numérico; Simulación; CAPP (Planificación del Proceso Asistido por Computadora) para FA; Optimización de Topología; Diseño para FA; Integridad Estructural; Análisis y Caracterización de Materiales; Pre-procesamiento y Manipulación de Materiales; Post-procesamiento, etc.*

\*Fuente: Se consultó a expertos en FA para identificar la lista de habilidades tecnológicas en FA. La lista no está cerrada y requiere una mayor explotación para detectar habilidades específicas del sector y/o del perfil.

Las "habilidades digitales" se definen como "un conjunto de capacidades para utilizar dispositivos digitales, aplicaciones de comunicación y redes para acceder y gestionar información. Permiten a las personas crear y compartir contenido digital, comunicarse y colaborar, y resolver problemas para lograr una autorrealización efectiva y creativa en la vida, el aprendizaje, el trabajo y las actividades sociales en general" (UNESCO, 2022) <https://www.unesco.org/en/articles/digital-skills-critical-jobs-and-social-inclusion>

Ejemplos de habilidades relacionadas con la fabricación aditiva: *Análisis de datos digitales (inteligencia artificial, aprendizaje automático); Gestión de datos digitales (big data, estadísticas, ...); Habilidad para pensar en 3D; Ciberseguridad; Codificación / programación.*

\*Fuente: Se consultó a expertos en fabricación aditiva para identificar la lista de habilidades digitales en FA. Posteriormente, se utilizó DiGComp para su desarrollo adicional en alineación con las habilidades específicas del sector de FA.

Las "habilidades verdes/medioambientales" (green skills) se definen como el conocimiento, habilidades, valores y actitudes necesarios para vivir, desarrollar y apoyar una sociedad sostenible y eficiente en el uso de recursos (CEDEFOP, 2015) <https://www.unido.org/stories/what-are-green-skills>,

Ejemplos de habilidades relacionadas con la fabricación aditiva y el enfoque verde: *eficiencia de recursos, conciencia ambiental, Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), eco-diseño, economía circular, recursos verdes y productos verdes.*

\*Fuente: La categorización de las habilidades verdes de FA se basó en la publicación del CEDEFOP "Habilidades verdes e innovación para un crecimiento inclusivo" <https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/3069>

"Emprendimiento o habilidades emprendedoras" se definen como "una competencia clave transversal aplicable por individuos y grupos, incluidas organizaciones existentes, en todas las esferas de la vida" o "cuando actúas sobre oportunidades e ideas y las transformas en valor para otros". El valor que se crea puede ser financiero, cultural o social." (ENTRECOMP, 2016)

[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en)

Ejemplos de habilidades relacionadas con la fabricación aditiva: *comunicación; trabajo en equipo, manejo de clientes, resolución de problemas, aprendizaje y planificación y organización; identificación de oportunidades; creatividad; valoración de ideas; autoconciencia y autoeficacia; etc.*

\*Fuente: el marco EntreCOMP se utilizó como referencia en combinación con la herramienta Skills Intelligence para habilidades transversales.

Tabla 5 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por la Universidad Brunel y Ansys Granta.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
<b>Tecnológico</b>	CU 26 (Brunel / Ansys): Additive manufacturing Process Overview	Introducción a los materiales (opcional)	8 sesiones online via Microsoft Teams	Presentaciones online, Demos, Encuestas tipo Mentimeter, Casos de uso Granta EduPack	Quiz online	No hubo sesiones prácticas o de laboratorio ya que el curso se impartió de forma remota.
	CU 61 (Ansys): Simulation execution	Simulación de FA de Metal	4 sesiones de capacitación en línea a través de Teams; Curso bajo demanda a través de Ansys Learning HUB. Se proporcionó el software Ansys..	Casos de uso, Quiz, Videos, Chat/Forum	Quiz online	El acceso al software para las tareas de capacitación requiere una licencia. El conocimiento específico de aditivos requiere conocimientos previos de simulaciones de herramientas FEA/Ansys, que algunos participantes no tenían.
<b>Emprendimiento</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digital</b>	CU 61 (Ansys): Simulation execution	Simulación o de fabricaciones de FA Metal	Habilidades prácticas en el manejo del software.	Ansys AM suite	Evaluación online	El acceso al software para las tareas de entrenamiento requiere una licencia que fue proporcionada.
	-	-	-	-	-	-
<b>Verde/ medioambiental</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 6 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por Lortek (apoyo de Granta en CU00 y CQSAM en CU63).

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Resumen de tecnología	Enseñanza en el aula durante unos días	Realizado por varios expertos en sus áreas de especialización. Conferencias, demostraciones y recorrido por el laboratorio	Examen escrito (virtual)	Así como este curso proporciona una visión general de todas las tecnologías, es muy difícil proporcionar herramientas prácticas, ya que muchas empresas pueden tener solo unas pocas internamente
		Visita al laboratorio, equipos, componentes y partes				
		Normas de proceso				
Tecnológico	CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Resumen de FA de Metales	Enseñanza en el aula durante unos días	Videos, recorrido por el laboratorio, estudios macrográficos, análisis de documentos y casos de uso	Preguntas de opción múltiple Preguntas de opción múltiple Examen práctico, mini proyectos	Como la empresa está trabajando con WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) y lo tiene en sus instalaciones, no hay limitaciones ni restricciones.
		Diseño y material en FA				
		Postprocesamiento y requisitos del sector industrial				
Tecnológico	CU 63 (Lortek): Certification, Qualification and Standardisation in Additive Manufacturing	Certificación y calificación en FA	Curso online 2 x 3,5 hrs	Clases magistrales con casos de uso e interacción a través de Slido para involucrar al público	Examen oral, lectura, escrito (cuestionario)	El curso se ofreció como un seminario web, lo que difiere de nuestros estudiantes habituales. Por lo tanto, fue muy difícil controlar el tipo de personas que participaron en el curso. Además, para adoptar un enfoque diverso en la enseñanza, se seleccionaron diferentes ponentes invitados de distintas empresas, lo que resultó en enfoques diferentes en la certificación de enseñanza.
		Estandarización en FA				
		Aplicabilidad de estos elementos en la cadena de proceso habilitada por FA				
Emprendimiento	CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Economía y productividad	Enseñanza en el aula durante unos días	Casos de uso, prácticas	Preguntas de opción múltiple Examen práctico, mini proyectos	Dado que la empresa está trabajando con WAAM y lo tiene internamente, no había limitaciones ni restricciones.

Digital	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Verde/ medioambiental	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 7 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por IAITIP.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Hardware y operación	Enseñanza en el aula durante 5 días.	Presentaciones, instrucción entre compañeros, ejemplo KRAKEN (Desarrollo de AITIIP) y discusión de casos de uso reales (LBP)	Examen escrito (cuestionario)	Se utilizaron videos y explicaciones prácticas para aumentar la participación de los estudiantes en el curso
		Materia prima y consumibles				
	CU 35 (AITIIP): Metal AM integration	Gestión de la producción	Enseñanza en el aula durante 3 días	Presentaciones, instrucción entre compañeros y discusión de casos de uso reales (LBP)	Examen escrito (cuestionario)	Los estudiantes sugirieron utilizar más casos prácticos y hacer sesiones más cortas
Emprendimiento	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	DED-Arc Estrategia de fabricación	Enseñanza en el aula durante 5 días.	Presentaciones, videos, explicaciones prácticas	Examen escrito (cuestionario)	Esta unidad curricular es muy extensa y resultó complicado para los estudiantes mantenerse concentrados durante todo el curso
		Integración comercial FA				
	CU 35 (AITIIP): Metal AM integration	Casos de uso	Enseñanza en el aula durante 3 días	Presentaciones, instrucción entre compañeros y discusión de casos de uso reales (LBP)	Examen escrito (cuestionario) Examen oral	Los estudiantes sugirieron usar más casos prácticos y realizar sesiones más cortas
Digital	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Software, programación con CURA, CAM	Enseñanza en el aula durante 5 días	Presentaciones, videos, explicaciones prácticas	Examen escrito (cuestionario)	Esta unidad curricular es muy larga y resultó complicado para los estudiantes mantenerse concentrados durante todo el curso
		-				
Verde/ medioambiental	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-

Tabla 8 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por LMS (soporte de AITIIP e IDONIAL en CU69).

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU 25 (LMS): Post Processing	Tratamiento térmico	Curso online dividido en 2 días	Clases online	Preguntas de opciones múltiples online	No se realizaron ejercicios prácticos debido al formato en línea del curso
		Deformación plástica y fabricación sustractiva				
		Operaciones de acabado				
	CU 68 (LMS): Design for Material Extrusion	Conceptos básicos de FA y MEX	Curso online dividido en 2 días	Clases, encuestas casos de uso online	Examen online	Por supuesto, el estudio de casos prácticos es preferible, pero debido al modo en línea, no fue posible. También hubo un aumento en el número de participantes
		Materiales para MEX				
		Reglas de diseño				
	CU 69 (LMS): Design for PBF Polymer	Conceptos básicos de FA y PBF	Curso online dividido en 2 días	Clases online	Examen online	Por supuesto, el estudio de casos prácticos es preferible, pero debido al modo en línea, no fue posible. También hubo un aumento en el número de participantes
		Materiales para PBF				
		Reglas de diseño				
Emprendimiento	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Verde/ medioambiental	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 9 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por POLIMI.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Diseño para FA	Remoto, clases online + laboratorios	Conferencias, laboratorio que involucra trabajo en proyectos y aprendizaje práctico, clase virtual conjunta con otras dos universidades (TUM y MIT)	Examen online	Restricción en las visitas al laboratorio debido a la situación de COVID

	CU 44 (POLIMI): Conformity of PBF-LB parts	Aseguramiento de la calidad	Clases online	Conferencias, clase virtual conjunta con otras dos universidades (TUM y MIT)	Examen online	Restricción en las visitas al laboratorio debido a la situación de COVID
		Normas de procesos de FA				
		Materiales y ensayos				
<b>Emprendimiento</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digital</b>	CU 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Software para FA, Optimización topológica, CAD-STL-g-code	Remoto, clases online + laboratorios	Conferencias, laboratorio que involucra trabajo en proyectos y aprendizaje práctico, clase virtual conjunta con otras dos universidades (TUM y MIT)	Examen online	
<b>Verde/medioambiental</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 10 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por EPMA.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
<b>Tecnológico</b>	CU 27 (EPMA): AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	Ciencia de materiales del acero	10 sesiones en línea a través de Microsoft Teams	Clases con diapositivas, publicaciones de EPMA	Examen online	No hay sesiones prácticas
	CU 30 (EPMA): AM with Nickel feedstock	Ciencia de materiales de aleaciones base nickel	3 sesiones en línea a través de Microsoft Teams	Clases con diapositivas, publicaciones de EPMA	Examen online	No hay sesiones prácticas
<b>Emprendimiento</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digital</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Verde/medioambiental</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 11 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por MTC.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU36 (MTC): Coordination activities	Consideraciones operativas y de gestión para FA	Se llevaron a cabo 10 sesiones de conferencias en un solo día (el curso se realizó dos veces para diferentes grupos - el 12/1/21 y el 15/1/21)	Presentaciones en PowerPoint respaldadas por videos, discusiones	Examen online	No hubo problemas con la entrega, pero los estudiantes solicitaron que se utilice menos material o que se disponga de más tiempo, ya que el curso fue demasiado intensivo. Se prefirieron más casos de estudio y elementos prácticos/discursivos. También se requirió aclaración en las preguntas de evaluación, lo cual está contenido en un informe aparte
	-	-	-	-	-	-
Emprendimiento	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digital	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Verde/ medioambiental	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 12 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por Idoinal.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
Tecnológico	CU61 (Idoinal): Simulation Analysis	Análisis y simulación mediante elementos finitos	4 sesiones de entrenamiento que se llevaron a cabo de forma remota a través de Microsoft Teams	Clases  Casos de uso	Examen online	El curso se llevó a cabo completamente de forma remota debido a las restricciones de COVID-19. Esto supuso una dificultad adicional al intentar proponer escenarios para que los participantes resolvieran (ejercicios prácticos), así como la complejidad propia de la unidad curricular en términos de la relación entre los contenidos y el tiempo disponible

	-	-	-	-	-	-
<b>Emprendimiento</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digital</b>	CU61 (Idoinal): Simulation Analysis	Optimización topológica, software Ansys	4 sesiones de entrenamiento que se llevaron a cabo de forma remota a través de Microsoft Teams	Clases  Casos de uso	Examen online	El curso se llevó a cabo completamente de forma remota debido a las restricciones de COVID-19. Esto supuso una dificultad adicional al intentar proponer escenarios para que los participantes resolvieran (ejercicios prácticos), así como la complejidad propia de la unidad curricular en términos de la relación entre los contenidos y el tiempo disponible
	-	-	-	-	-	-
<b>Verde/ medioambiental</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabla 13 Análisis sistemático de los estudios piloto llevados a cabo por ECNantes.

Grupo de habilidades / Categorías de habilidades	Unidades	Materia	Contexto de aprendizaje	Herramienta de aprendizaje	Métodos/ herramientas de aprendizaje	Restricciones
<b>Tecnológico</b>	CU 34 (ECNantes): Process selection	Análisis de empleo en FA (Resumen del proceso de FA)	Clase online	Clases - Video	Examen escrito	Imposibilidad de utilizar algunas herramientas de entrenamiento físico basadas en laboratorios (por ejemplo, Fábrica de enseñanza) que respaldan el aprendizaje práctico. Menor posibilidad de trabajo en equipo y discusiones grupales. Dificultades para comprender los niveles de compromiso de los estudiantes
		Análisis de empleo en FA (Diseño, Materiales, Especificaciones técnicas)		Clases – Video – Casos de uso		
		Análisis de empleo en FA (Post-proceso, requerimientos del sector industrial)		Clases - Video		
<b>Emprendimiento</b>	CU 64 (ECNantes): Business for Additive Manufacturing	Estrategias y modelos de negocio	Clase online	Clases – casos de uso	Examen escrito	Menor posibilidad de poner en práctica casos empresariales reales o ficticios en el contexto de trabajo en equipo y discusión grupal. Imposibilidad
		Política y gobernanza		Clases		
		Gestión de la calidad,		Clases - Video		

		planificación y control				de mostrar ejemplos in situ del proceso de FA
		Administración del flujo de trabajo en FA		Clases		
		Presupuesto y costos		Clases – ejercicios prácticos		
	CU 34 (ECNantes): Process selection	Economía y productividad	Clase online	Clases – ejercicios prácticos	Examen escrito – Examen práctico	
	-	-	-	-	-	-
<b>Digital</b>		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
<b>Verde/ medioambiental</b>	CU 64 (ECNantes): Business for Additive Manufacturing	HSE & Sostenibilidad	Clase online	Clases - Video	Examen escrito	
	-	-	-	-	-	-

A partir de esta plantilla, se llevó a cabo un meta-análisis que brindó buenos conocimientos sobre la cantidad de habilidades cubiertas en cada unidad de competencia y materia, la cantidad de herramientas de capacitación que se utilizaron para su desarrollo y las herramientas de capacitación más utilizadas para cada tipo de habilidad.

### 4.2.3 Encuestas

Los resultados del meta-análisis realizado con los datos registrados de cada actividad piloto individual se compararon con los resultados de la segunda encuesta de la industria que se llevó a cabo en enero y febrero de 2022. Durante esta encuesta, se enfocó en la fuerza laboral y los empleadores actuales en el sector de la fabricación aditiva. Aunque el objetivo principal de la encuesta era preguntar sobre las brechas de habilidades relevantes y la alineación entre la industria de FA y los perfiles que se requerirán principalmente en el corto y mediano plazo, los socios de SAM decidieron incluir también algunas preguntas adicionales. sobre la futura implementación de la FA en la industria. Estas preguntas se referían a las preferencias de formación dirigidas a superar las necesidades de competencias.

Vale la pena señalar que muchos de los profesionales actuales adquirieron sus conocimientos y habilidades mediante cursos, autoaprendizaje y capacitación o tutoría en el trabajo. Por lo tanto, es bastante evidente que todavía falta un marco de educación formal que garantice los estándares y la calidad de los programas de enseñanza. Además, es muy importante tener en cuenta que los trabajadores prefieren asistir a cursos cortos, centrados en competencias específicas o temas de FA, para trabajar con estudios de casos, grupos de trabajo, métodos de aprendizaje basados en problemas y capacitación en el trabajo. De hecho, los cursos a largo plazo basados en el aprendizaje presencial y las conferencias en el aula no son los contextos y herramientas de aprendizaje más atractivos según la fuerza laboral. La conclusión de este análisis es que los cursos de formación deberían hacer un gran esfuerzo por concentrar las clases teóricas y presenciales e implementar otras herramientas de aprendizaje más activo fuera del aula.

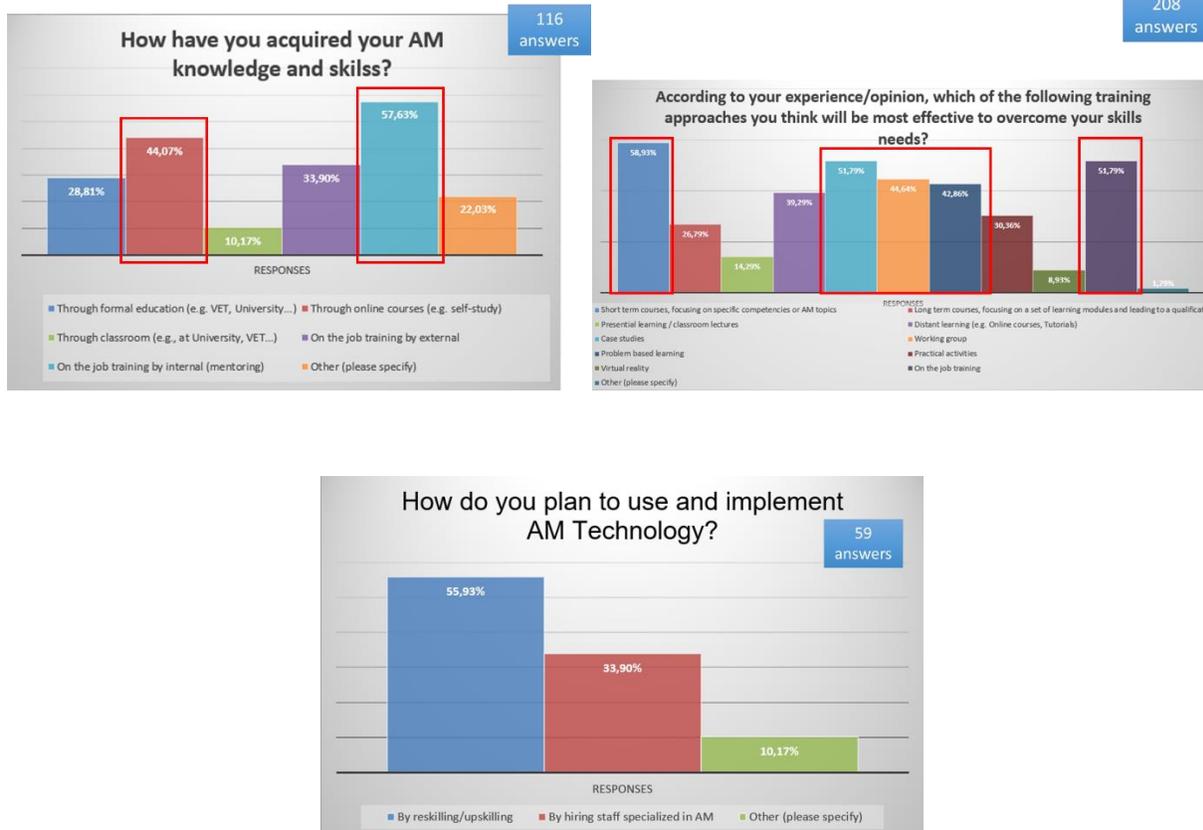


Figura 13: Resultados de la segunda encuesta a la industria que muestran las principales preferencias por la formación..

#### 4.2.4 Conclusiones del meta-análisis

Los principales resultados del meta-análisis realizado se describen en los siguientes gráficos. Además, las principales conclusiones fueron:

- 1) Las habilidades tecnológicas se enfocaron principalmente en cada unidad de competencia y en temas relacionados. Las habilidades empresariales también se abordaron en muchas actividades piloto, incluidas 5 unidades de competencia y 10 asignaturas. Las habilidades digitales y especialmente verdes casi no se cubrieron durante las actividades de capacitación.
- 2) Casi dos tercios de las actividades piloto se realizaron en línea. Esto se debió principalmente a las restricciones provocadas por el brote de Covid-19.
- 3) Las conferencias, estudios de casos, videos y actividades prácticas fueron las herramientas de capacitación más utilizadas para desarrollar habilidades tecnológicas. Para las habilidades empresariales y digitales, las conferencias y las actividades prácticas también fueron herramientas de capacitación preferidas. En este punto, cabe destacar nuevamente que la implementación de algunas herramientas como proyectos, actividades prácticas o grupos de trabajo se vio perjudicada por la situación de pandemia.
- 4) Con el fin de probar el impacto de la pandemia de Covid19 en las herramientas de capacitación seleccionadas, se realizó un análisis basado en años. De esta forma, las actividades de pilotaje finalizadas en 2020 se analizaron de forma independiente a las realizadas en el año 2021. La conclusión es que durante las actividades de pilotaje del año 2021 se emplearon menos clases magistrales, mientras que se potenciaron el resto de herramientas formativas como actividades prácticas, grupos de trabajo o casos

prácticos. Esto permitió un enfoque de enseñanza más práctico e inmersivo que fue considerado positivamente por los estudiantes.

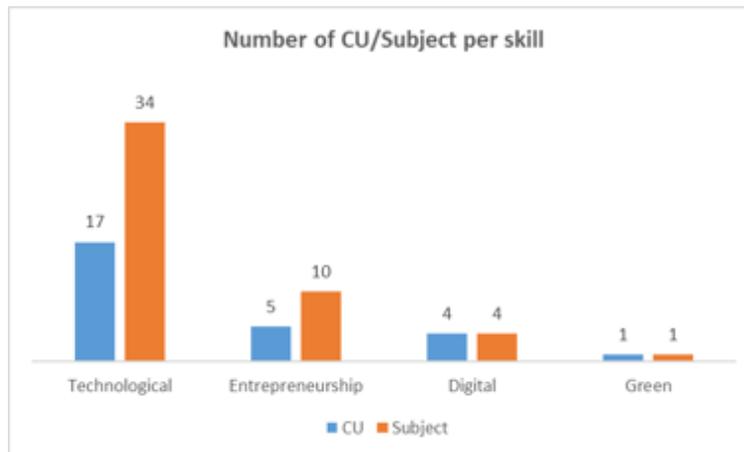


Figura 14: Resumen de los resultados del meta-análisis: número de habilidades en cada categoría cubiertas en las unidades de competencia/asignaturas.



Figura 15: Descripción general de los resultados del meta-análisis: modalidad de capacitación para la realización de actividades piloto.

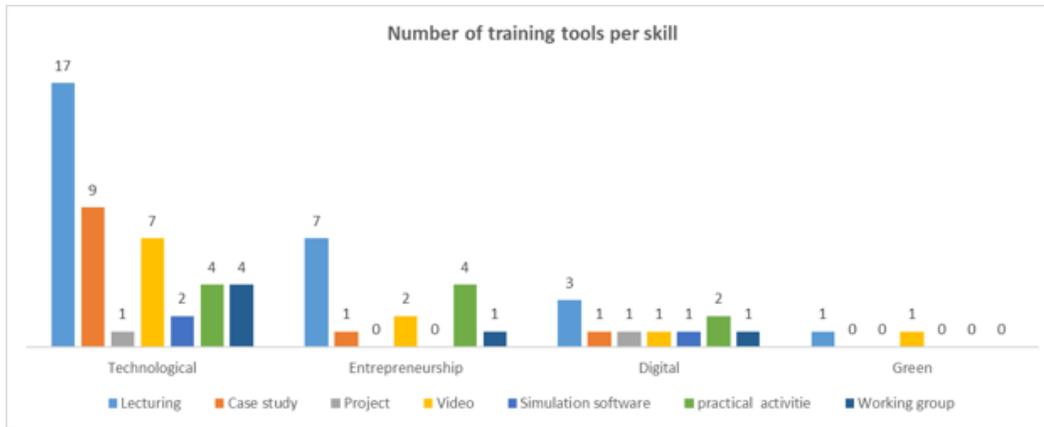


Figura 16: Descripción general de los resultados del metanálisis: número de herramientas de capacitación empleadas para desarrollar diferentes tipos de habilidades.

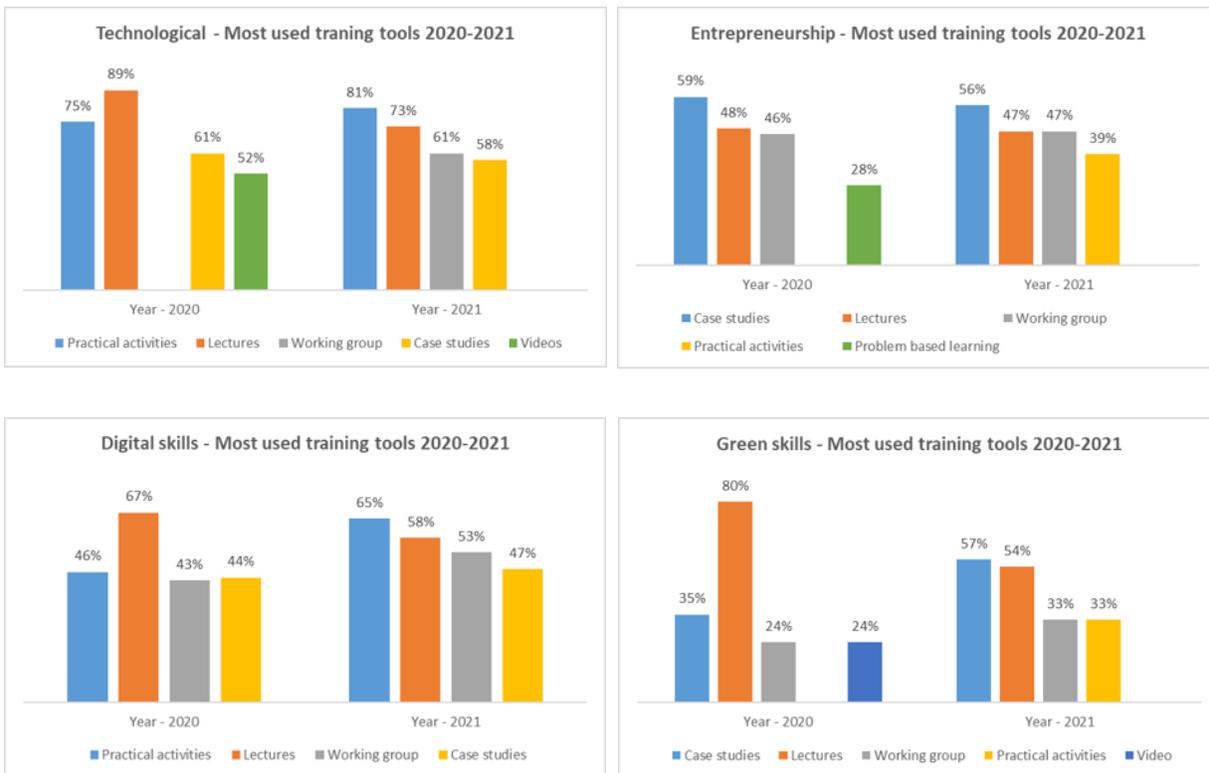


Figura 17: Herramientas de capacitación más utilizadas para el desarrollo de diferentes categorías de habilidades (tecnológicas, empresariales, digitales, verdes) en los años 2020 y 2021.

Después de completar las actividades piloto, se completó un resumen de las habilidades más necesarias y las herramientas de capacitación y los métodos de evaluación más utilizados.

Habilidades tecnológicas					
Habilidades más demandadas en 2021	Habilidades más demandadas en 2020	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2021	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2020	Métodos de examen más usados en 2021	Métodos de examen más usados en 2020
Procesos FA (91%) Aplicaciones FA (79%) Diseño CAD, simulación (77%)	Procesos FA (91%) Aplicaciones FA (85%) Diseño CAD, simulación (67%)	Actividades prácticas de laboratorio (81%) Conferencias (73%) Grupos de trabajo (61%)	Conferencias (89%) Actividades prácticas de laboratorio (75%) Casos de estudio (61%)	Actividades prácticas de laboratorio (61%) Exámenes escritos (55%) Grupos de trabajo (42%)	Exámenes escritos (59%) Actividades prácticas de lab (47%) Grupos de trabajo (46%)
Habilidades emprendimiento					
Habilidades más demandadas en 2021	Habilidades más demandadas en 2020	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2021	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2020	Métodos de examen más usados en 2021	Métodos de examen más usados en 2020
Trabajo en equipo (62%) Creatividad (59%) Aprendizaje continuo (59%)	Creatividad (46%) Trabajo en equipo (42%) Aprendizaje continuo (38%)	Casos de estudio (56%) Grupos de trabajo (47%) Conferencias (47%)	Casos de estudio (59%) Conferencias (48%) Grupos de trabajo (46%)	Grupos de trabajo (42%) Exámenes escritos (39%) Aprendizaje basado en problemas (35%)	Grupos de trabajo (57%) Exámenes escritos (32%) Informes (30%)
Habilidades digitales					
Habilidades más demandadas en 2021	Habilidades más demandadas en 2020	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2021	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2020	Métodos de examen más usados en 2021	Métodos de examen más usados en 2020
Capacidad de pensar en 3D (83%) Codificación / programación (24%) Análisis de datos digitales (23%)	Capacidad de pensar en 3D (69%) Codificación / programación (17%) Análisis de datos digitales (16%)	Actividades prácticas de laboratorio (65%) Conferencias (58%) Grupos de trabajo (53%)	Conferencias (67%) Tutoriales (50%) Actividades prácticas de laboratorio (46%)	Actividades prácticas de laboratorio (56%) Aprendizaje basado en problemas (42%) Exámenes escritos (41%)	Actividades prácticas de laboratorio (40%) Grupos de trabajo (40%) Exámenes escritos (38%)
Habilidades verdes / medioambientales					
Habilidades más demandadas en 2021	Habilidades más demandadas en 2020	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2021	Herramientas para aprendizaje más empleadas en 2020	Métodos de examen más usados en 2021	Métodos de examen más usados en 2020
Ecodiseño (47%) Economía circular (47%) Gestión de la eficiencia de los recursos (38%)	Ecodiseño (37%) Economía circular (35%) Análisis de ciclo de vida (LCA) (32%)	Estudios de casos (57%) Conferencias (54%) Grupos de trabajo (33%)	Conferencias (80%) Estudios de casos (35%) Grupos de trabajo (24%)	Grupos de trabajo (39%) Actividades prácticas de laboratorio (35%) Exámenes escritos (31%)	Grupos de trabajo (38%) Exámenes escritos (33%) Informe (31%)

Figura 18: Overview of the results of meta-analysis: summary table.

## 5 Conjunto de recomendaciones aprobadas para contextos y herramientas de formación en Fabricación Aditiva

El 21 de abril de 2022, se organizó una sesión en línea de un grupo de expertos por parte del proyecto SAM. Diferentes empresas profesionales e industriales que apoyan el proyecto SAM asistieron a la sesión de trabajo, que tuvo como objetivo discutir la metodología para diseñar y revisar perfiles profesionales y desarrollar habilidades que permitirán implementar el(los) Perfil(es) Profesional(es) / Cualificación(es) o Unidades de Competencia / Módulo(s) durante la fase piloto y posteriormente.

En consecuencia, se explicaron los pasos seguidos para completar la guía operativa aplicable al contexto y herramientas de formación. Además, se presentó la metodología empleada para registrar datos relevantes de las actividades de formación piloto y se compartieron las conclusiones del análisis meta realizado con las actividades de piloto de primera y segunda ronda. Al final de la sesión, los asistentes discutieron sus recomendaciones sobre el contexto y las herramientas de formación. Aquí se incluye una lista de las recomendaciones propuestas:

- 1) Contexto de formación: Los enfoques de aprendizaje en línea y en el aula/mediante clases magistrales que se han aplicado debido a las restricciones por COVID-19 carecen de **aprendizaje práctico** y deberían combinarse con el aprendizaje práctico, que incluya pruebas en laboratorio y en la empresa. El **aprendizaje mixto** (blended learning) parece ser el enfoque más adecuado, por lo que se debe promover este contexto. El acceso a máquinas de FA es fundamental para una formación completa.
- 2) Herramientas de formación: Además de las clases magistrales, los **casos de uso** son una poderosa herramienta de formación para los profesionales de FA y son muy apreciados por los empleados. Esta herramienta ha sido ampliamente implementada en actividades piloto y debería considerarse para la **implementación y definición de nuevas Unidades de Competencia (UC) para Perfiles Profesionales (PP)**.
- 3) Herramientas de formación: Algunas herramientas de formación, como los juegos serios, la realidad aumentada, el aprendizaje basado en proyectos o talleres virtuales, no han sido implementadas y deberían incluirse y probarse en futuras actividades de formación para evaluar sus beneficios.
- 4) Incluir en los **resultados de aprendizaje de la UC, una descripción de las habilidades** (tecnológicas, empresariales, digitales, sostenibles) que deben ser objeto de cada actividad de formación (evaluación previa y directrices para los formadores). Actualmente, solo se identifican habilidades técnicas en términos de resultados de aprendizaje.
- 5) La definición de programas de formación debe estar alineada con las **preferencias de los empleados y la industria**: la capacitación y reciclaje de profesionales, cursos a corto plazo centrados en competencias específicas y trabajo práctico (estudios de casos, grupos de trabajo, aprendizaje basado en proyectos, formación en la empresa).

A continuación, se muestra la lista final de recomendaciones aprobadas que surgieron después de analizar las recomendaciones propuestas por el grupo de expertos en una sesión especial durante la Reunión Técnica nº8 del Proyecto SAM, que tuvo lugar en Gijón, España, del 23 al 25 de mayo de 2022. Se acordó adoptar las cinco recomendaciones propuestas por el grupo de expertos y se presentaron tres nuevas recomendaciones:

- 1) Contexto de formación: Los enfoques de aprendizaje en línea y en el aula/mediante clases magistrales que se han aplicado debido a las restricciones por COVID-19 carecen de **aprendizaje práctico** y deberían combinarse con el aprendizaje práctico, que incluya pruebas en laboratorio y formación en la empresa. El **aprendizaje mixto** (blended learning) parece ser el enfoque más adecuado, por lo que se debe promover este contexto. Las **actividades de aprendizaje activo** deben combinarse con las clases magistrales tradicionales. En algunas Unidades de Competencia (UC), el acceso a máquinas de FA es fundamental para una formación completa.
- 2) Herramientas de formación: Además de las clases magistrales, los **casos de uso** son una poderosa herramienta de formación para los profesionales de FA y son muy apreciados por los empleados. Esta

herramienta ha sido ampliamente implementada en actividades piloto y debería considerarse **para la implementación y definición de nuevas UC para PPs.**

- 3) Herramientas de formación: **Algunas herramientas de formación**, como los juegos serios, la realidad aumentada, el aprendizaje basado en proyectos o talleres virtuales, no han sido implementadas y **deberían incluirse y probarse** en futuras actividades de formación para evaluar sus beneficios. Algunos socios disponen de sus propios juegos y aplicaciones de realidad virtual que podrían ser implementados por los centros de formación.
- 4) Incluir en la **descripción de la UC** una sección sobre "recomendaciones para desarrollar habilidades no tecnológicas" con el objetivo de crear conciencia **sobre las categorías de habilidades restantes abordadas por el proyecto SAM, es decir: habilidades digitales, empresariales y verdes.**
- 5) La definición de los programas de formación debe estar alineada con las **preferencias de los empleados y la industria (mantener los cursos de formación lo más cortos posible):** capacitación y reciclaje de profesionales, cursos a corto plazo centrados en competencias específicas y trabajos prácticos (estudios de casos, grupos de trabajo, aprendizaje basado en proyectos, formación en la empresa). La retroalimentación de las empresas industriales (clientes más importantes) es esencial.
- 6) La definición o revisión de las horas de contacto, **incluyendo el número de horas para actividades prácticas**, debe incluirse en la definición de la UC.
- 7) Con el fin de mejorar el análisis sistemático del proceso de implementación de las UC, se propone una nueva tabla de recopilación de datos. Esto debe utilizarse junto con un nuevo glosario y una descripción mejorada de las UC, que incluya habilidades tecnológicas, empresariales y verdes dirigidas en la descripción de los resultados de aprendizaje.
- 8) La alineación de IAMQS con DigiComp y EntreComp es bastante subjetiva y esto requiere una adaptación inicial de estos dos marcos de competencias a FA. Se deben incluir ejemplos claros sobre cómo transferir habilidades digitales, empresariales y verdes a la formación en las directrices (por ejemplo: aprendizaje basado en proyectos con seguimiento regular y que cubra diferentes áreas de desarrollo, como el modelo de negocio, el análisis del ciclo de vida, etc.).

**D3.3 Operational guide line on context and training tools**

Competence Unit	Subjects	Learning context							Learning tools							
		On-line learning / distance learning	Classroom / presential learning	Laboratory	Internship / in company training	Blended learning	Teaching factory	Serious games	Augmented reality	Project based learning	Case study	Lecturing	Virtual workshops	Practical activities	Group work	Educational videos and animations
CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview															
	Lab visit, equipment, components and parts															
	Process standards															
CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	(Metal) AM overview															
	AM Design and material															
	Post processing and industrial sector requirements															

Figura 19 Nueva table para recopilar información para la monitorización de la implementación de UCs.

## 6 Conclusiones

El documento proporciona una visión general y una definición (glosario) de los diversos contextos de aprendizaje y herramientas de aprendizaje disponibles para la formación y educación en Fabricación Aditiva. En cuanto a los contextos de aprendizaje, se pueden encontrar una variedad de contextos que van desde la enseñanza tradicional en el aula hasta la enseñanza en laboratorios. Debido al problema del COVID-19, se espera que el aprendizaje en línea gane impulso significativo en los próximos años. Las herramientas de aprendizaje han ampliado las capacidades tecnológicas, como se mencionó anteriormente, y ahora los ejemplos incluyen juegos serios y paradigmas de TF (Teaching Factory).

En general, se puede destacar que el aprendizaje de FA está limitado a los niveles dos y tres del EQF (Marco Europeo de Cualificaciones), pero ya existen muchos contextos y herramientas de formación disponibles para la enseñanza, el aprendizaje y la práctica de diferentes temas de impresión 3D a nivel de Máster/Doctorado y para el desarrollo profesional/reciclaje de habilidades.

Se percibe la necesidad de traducir los cursos específicos de postgrado avanzado a nivel de pregrado. Además, la inclusión de temas de FA en la educación secundaria (como en los programas de divulgación desarrollados por IMR – Irish Manufacturing Research) sería muy beneficioso para comenzar a abordar el desarrollo de habilidades de FA en una etapa temprana y aumentar el atractivo de las carreras de ingeniería entre los jóvenes.

Dado que la impresión 3D es una tecnología bastante nueva, el proceso de digitalización también se ha incluido en muchos métodos de enseñanza, como la realidad aumentada o los juegos serios. Se puede elegir entre un amplio campo de métodos de enseñanza.

Sin embargo, como se describe en este documento, el actual mercado educativo en toda la Unión Europea coloca a la FA como una materia opcional o menor en los cursos de Ingeniería en lugar de ser el centro de una oferta de formación específica. La forma en que se imparte la enseñanza depende en gran medida del enfoque, las escuelas, el público objetivo, el tema o la institución. Actualmente, no hay una forma homogénea de enseñar o aprender que sea aplicada por las instituciones educativas. En general, el mapeo de los diferentes contextos y herramientas de aprendizaje mostró que una combinación de dos métodos de formación diferentes (teóricos y prácticos) tendrá el mayor efecto de aprendizaje para el público objetivo. Sería interesante desarrollar una guía que indique qué contexto de aprendizaje debería adoptarse con una herramienta de formación correspondiente en relación con el público objetivo.

En cuanto a los contextos de aprendizaje, se ha demostrado que se utilizan diversos métodos de enseñanza y se abordan diferentes temas en la FA. Un hallazgo es claro: existe una falta de actividades de desarrollo de habilidades sostenibles y habilidades verdes en toda la cadena de procesos, desde el material hasta la pieza, se encuentran aspectos ecológicos, consumo de materia prima, etc.

La digitalización de la formación es un aspecto que se ha abordado bastante bien. Esto se debe probablemente a la conjunción de la impresión 3D y la industria 4.0, ya que ambos temas funcionan muy bien juntos y la industria 4.0 puede ejemplificarse utilizando la impresión 3D. De hecho, la naturaleza digital inherente de la primera parte del proceso de FA se presta muy bien a este enfoque; los desafíos surgen en el lado "práctico".

En términos de herramientas de formación, hay una variedad de herramientas disponibles, incluyendo las digitales. Por supuesto, siempre hay margen para mejorar. En cuanto a recomendar el método adecuado para el público adecuado, esto depende en gran medida de para qué público, proceso o contexto se va a enseñar. En general, en la FA hay un gran potencial para combinar recursos de enseñanza teóricos y prácticos, ya que pequeñas máquinas de enseñanza ya están disponibles en el mercado. Por ejemplo, el aprendizaje en línea (que ya está creciendo

significativamente después del COVID-19) es una forma efectiva de llegar a un amplio público con muchos temas diferentes. Sin embargo, esta es una herramienta de aprendizaje basada en la teoría y, para aprovechar al máximo el potencial del aprendizaje de FA, el aprendizaje en línea debería ir acompañado de un aprendizaje práctico basado en proyectos durante una o dos semanas en una fábrica de enseñanza o laboratorio. Explorar un proceso de fabricación a través de la realidad aumentada permite a un estudiante acceder a todo de una manera menos teórica, pero se pierde la experiencia práctica y se recomendaría que los estudiantes experimenten la impresión 3D tocando realmente una máquina.

Los desafíos de la formación durante la pandemia de COVID-19 y la necesidad de formación práctica obligaron a las organizaciones a adaptarse, repensar y superar los métodos y prácticas de formación. Para resolver esto, los formadores han comenzado a experimentar con el aprendizaje virtual e integrar nuevas tecnologías como la realidad aumentada y virtual como herramientas de formación.

Sistemas de Gestión del Aprendizaje (SGA), microaprendizaje y credenciales, actividades interactivas en línea como encuestas en vivo y IoT, junto con la ampliación de la Realidad Virtual, son algunos de los métodos y herramientas de formación recientemente introducidos que se utilizaron durante el período de la pandemia y muestran ejemplos representativos de los nuevos métodos y herramientas. Esto también se observa en la impartición de los cursos de formación piloto dentro del proyecto SAM. Conclusiones, recomendaciones y áreas de mejora para fomentar el desarrollo de las habilidades técnicas, empresariales, digitales y verdes requeridas para los futuros profesionales de la FA se incluyen después del análisis inicial de las actividades de implementación piloto realizadas por los socios de SAM y basándose en el contraste con la industria y el grupo de expertos.

## 7 Referencias

1. **Smartechnalysis**. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. s.l. : <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>, 2019.
2. **Deloitte**. *3D opportunity for the talent gap additive manufacturing and the workforce of the future*. s.l. : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-talent-gap-workforce-development.html>, 2016.
3. **SME**. *Experts in Demand: Growth in Metal AM Creates Need for Professionals*. s.l. : <https://www.smeef.org/globalassets/sme.org/media/white-papers-and-reports/2018-metal-am-report.pdf>, 2018.
4. **Politecnico di Milano**. [https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda\\_pubblica/SchedaPublic.do?&evn\\_default=evento&c\\_classe=712407&polij\\_device\\_category=DESKTOP&\\_\\_pj0=0&\\_\\_pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13](https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712407&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13). Milan : s.n.
5. **Politecnico di Milano**. [https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda\\_pubblica/SchedaPublic.do?&evn\\_default=evento&c\\_classe=712938&polij\\_device\\_category=DESKTOP&\\_\\_pj0=0&\\_\\_pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06](https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712938&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06). Milan : s.n.
6. *A view on Future Challenges & Goals*. **Chryssolouris, George & Mavrikios, Dimitris & Papakostas, Nikolaos & Mourtzis, Dimitris**. 2006, Education in Manufacturing Technology & Science.
7. *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm*. **Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L**. doi:10.1016/j.procir.2016.11.009, 2016, Procedia CIRP, Vol. 57, pp. 44-48.
8. *Serious Games – An Overview*. **T. Susi, M. Johannesson and P. Backlund**. 2005, Tech. Rep.
9. *Serious games...and less!* **Blackman, Sue**. DOI:<https://doi.org/10.1145/1057792.1057802>, 2005, SIGGRAPH Comput. Graph., Vol. 39, pp. 12-16.
10. *A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training*. **Renner, Alex, Holub, Joseph, Sridhar, Shubang, Evans, Gabe, and Winer, Eliot**. 2017, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers.
11. **Projects, diva - Good Practice for Dissemination and Valorization of Educational**. *Handbook for Dissemination, Exploitation and Sustainability of Educational Projects*. 2009.
12. <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities*. 2019.
13. *A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation*. **Go, Jamison, Hart A. John**. 2016, Additive Manufacturing, Vol. 10, pp. 76-87.
14. *Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a National Science Foundation workshop*. **Simpson, Timothy; Williams, Christopher and Hripko, Michael**. 2017, Additive Manufacturing, Vol. 13, pp. 166-178.

## 8 Glosario

### APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS RELACIONADOS CON CONTEXTOS Y HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE

**Contexto de aprendizaje:** Es el lugar donde tiene lugar el aprendizaje<sup>1</sup>.

**Contexto:** Es el conjunto de circunstancias que son relevantes para que el estudiante construya conocimientos cuando se refiere al contenido<sup>2</sup>.

**Contenido de aprendizaje:** Son los recursos utilizados en la enseñanza y el aprendizaje para alcanzar los objetivos de aprendizaje deseados<sup>3</sup>.

**Aprendizaje a distancia:** Los estudiantes utilizan material de instrucción (tanto impreso como electrónico) y reciben instrucciones del profesor en diferentes momentos. Puede ser en tiempo real utilizando plataformas como Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom u otras alternativas similares, o de manera flexible en horarios determinados. Por lo tanto, se espera que los estudiantes estén disponibles para recibir instrucción de forma sincrónica en algunas ocasiones. El trabajo realizado por los estudiantes es revisado digitalmente por el profesor<sup>4,5,6</sup>. También pueden incluir talleres presenciales, escuelas de verano o actividades "residenciales" como parte del programa de estudios<sup>7</sup>.

**Aprendizaje online:** Enseñanza no en tiempo real. Se espera que los estudiantes no estén disponibles en ningún momento específico del día para recibir instrucción en el aula del profesor<sup>8</sup>. Los estudiantes tienen acceso a un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) como Moodle o Dokeos. El EVA actúa como un medio de comunicación y una herramienta de aprendizaje interactiva. Algunas instituciones proporcionan apoyo de tutores a los estudiantes que realizan el programa. Estos tutores están disponibles para contactar a través de correo electrónico o Skype cuando sea necesario<sup>3,4,5</sup>.

**Aprendizaje en el aula:** Aprendizaje presencial. El entorno de aprendizaje se crea dentro de las paredes físicas de un aula donde los estudiantes y el profesor están presentes físicamente.

- **Clases magistrales:** Un tipo de clase presencial donde el profesor habla sobre un tema durante un período prolongado. Hay poca interacción entre el profesor y los estudiantes. Es un método unidireccional<sup>8</sup>.
- **Seminarios:** Un tipo de clase presencial donde los estudiantes toman turnos para dar su opinión sobre un tema ante la clase. Los estudiantes discuten lo que han aprendido de la clase magistral<sup>9</sup>.
- **Talleres:** Un tipo de clase presencial similar a los seminarios, donde los estudiantes hablan y el profesor modera la discusión sobre un tema específico. Los talleres incluyen ejercicios más interactivos para fomentar la comunicación entre los participantes y pueden durar un día completo o varios días<sup>8</sup>.

**Laboratorio:** Actividades prácticas sobre un tema estudiado en la clase. Los estudiantes aprenden a través de la experiencia directa y la práctica de lo que han aprendido en la clase teórica, trabajando de forma colaborativa o individualmente.

**Prácticas en empresa:** una experiencia laboral a corto plazo ofrecida por empresas para que los estudiantes obtengan una exposición inicial a una industria o campo en particular. El estudiante desarrolla habilidades técnicas y habilidades blandas durante estas prácticas<sup>9</sup>.

**Formación en la empresa / Formación en el trabajo:** Un enfoque práctico o curso de formación para adquirir nuevas competencias y habilidades necesarias para un trabajo, impartido por la empresa a trabajadores específicos<sup>10</sup>.

**Aprendizaje mixto/combinado:** Aprendizaje que combina la formación presencial y en línea. El contenido en línea puede variar desde el 30 % hasta el 80 %.

**Herramienta de aprendizaje:** Un instrumento diseñado para ser utilizado por los estudiantes con el fin de proporcionar una estructura para desarrollar habilidades y comportamientos de aprendizaje y/o recopilar y reflexionar sistemáticamente sobre información clave<sup>11</sup>.

**Teaching Factory (Fábrica de Aprendizaje):** Es un concepto que incorpora el entorno de aprendizaje y trabajo del cual surgen experiencias de aprendizaje realistas y relevantes. Sigue un canal de transferencia de conocimiento bidireccional, donde los temas de fabricación son la base para nuevos modelos de sinergia entre la academia y la industria. Se intercambian ideas y soluciones novedosas entre la academia y la industria para equilibrar el tiempo y el costo requeridos para el aprendizaje y la prueba de soluciones a problemas de fabricación, y para profundizar el conocimiento de la industria y la academia a través de la innovación en producción o problemas reales. Hay dos esquemas operativos: "fábrica a aula" y "academia a industria". El concepto "fábrica a aula" tiene como objetivo transferir el entorno de fabricación real al aula, mientras que el concepto "academia a industria" tiene como objetivo transferir el conocimiento de la academia a la industria<sup>12</sup>.

**Serious games:** Los juegos serios o serious games combinan estrategias de aprendizaje, conocimiento y estructuras, y elementos de juego para enseñar habilidades, conocimientos y actitudes específicas. Están diseñados para resolver problemas en diversas áreas e involucran desafíos y recompensas, utilizando los componentes de entretenimiento y compromiso que se experimentan cuando el usuario juega juegos<sup>13</sup>. En la educación, los juegos se utilizan para enseñar materias específicas a través de ejercicios gamificados y simulaciones. En este caso, también se conocen como "juegos educativos".

**Realidad aumentada:** La realidad aumentada (RA) es una tecnología que permite superponer elementos virtuales sobre nuestra visión de la realidad. Esto se logra mediante el uso de elementos visuales digitales, sonido u otros estímulos sensoriales entregados a través de la tecnología<sup>14</sup>. Esta tecnología puede permitir a los profesores mostrar ejemplos virtuales de conceptos y agregar elementos de juego para brindar soporte de material de libro de texto. Esto permitirá a los estudiantes aprender más rápido y memorizar información<sup>15</sup>.

**Aprendizaje basado en proyectos:** El aprendizaje basado en proyectos es un método de enseñanza en el cual los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades trabajando durante un período prolongado para investigar y responder a una pregunta, problema o desafío auténtico, interesante y complejo. Durante este proceso, los estudiantes se involucran activamente en la resolución de problemas y la aplicación de lo que están aprendiendo en un contexto real y significativo<sup>16</sup>.

**Caso de uso:** Un caso de uso es un relato de una actividad, evento o problema que contiene una situación real o hipotética e incluye las complejidades que se encontrarían en el lugar de trabajo. Los estudios de caso se utilizan para ayudar a los estudiantes a ver cómo las complejidades de la vida real influyen en las decisiones. Analizar un estudio de caso requiere que los estudiantes practiquen la aplicación de sus conocimientos y habilidades de pensamiento a una situación real<sup>17</sup>. Para aprender de un análisis de estudio de caso, los estudiantes estarán "analizando, aplicando conocimientos, razonando y sacando conclusiones" (Kardos y Smith 1979).

**Clases magistrales:** Un tipo de clase presencial donde el profesor habla sobre un tema durante un período prolongado. Hay poca interacción entre el profesor y los estudiantes. Es un método unidireccional<sup>8</sup>.

**Software de simulación:** Es un software basado en el proceso de modelar un fenómeno real con un conjunto de fórmulas matemáticas. Esencialmente, es un programa que permite al usuario observar una operación a través de una simulación sin realizar esa operación en realidad. El software de simulación se utiliza ampliamente para diseñar equipos de manera que el producto final se acerque lo más posible a las especificaciones de diseño sin costos

modificaciones en el proceso<sup>18</sup>. Estos softwares generan modelos para proporcionar soporte en las decisiones de los gerentes e ingenieros, así como para fines de entrenamiento. Las técnicas de simulación ayudan a la comprensión y experimentación, ya que los modelos son tanto visuales como interactivos<sup>19</sup>.

**Actividades prácticas:** Cualquier actividad que permita a los alumnos tener una conexión directa, a menudo práctica, con los fenómenos que están estudiando<sup>20</sup>.

**Trabajo en grupo:** Método de instrucción que hace que los estudiantes trabajen juntos en grupos. Requiere que los estudiantes participen en actividades de aprendizaje dentro del mismo grupo durante un período de tiempo mientras trabajan en una tarea sustancial con un resultado compartido (por ejemplo, un informe o un proyecto)<sup>21</sup>.

**Videos educativos y animaciones:** Son videos y animaciones utilizados como ayuda visual para facilitar el aprendizaje. Son utilizados por educadores para hacer que el contenido sea atractivo, fácil de entender y accesible emocionalmente para todo tipo de estudiantes. Estos recursos permiten explicar ideas complejas de manera sencilla. Mantienen a los estudiantes enfocados en el contenido y crean una experiencia distintiva que es más probable que los estudiantes recuerden<sup>22,23</sup>.

1 <https://www.igi-global.com/dictionary/ubiquitous-learning-supporting-systems/16847>

2 Figueiredo, Antonio Dias de. (2005). Learning Contexts: A Blueprint For Research. Interactive Educational Multimedia, ISSN 1576-4990, Nº. 11, 2005, pags. 127-139.

3 <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

4 <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

5 Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

6 <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

7 <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

8 <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

9 <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

10 <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

11 "Faculty Guidebook- A comprehensive tool for improving faculty performance". Chapter: 3.4.1 Overview of Effective Learning Tools by Carol Nancarrow (English, Sinclair Community College). 4<sup>th</sup> Edition Project Directors. Steven W. Beyerlein, Carol Holmes, Daniel K. Apple.

12 G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pages 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

13 <https://grendelgames.com/what-are-serious-games/>

14 <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

15 <https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>

16 <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>

17 <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

18 <https://www.youtube.com/watch?v=EF9v-P0dDg4>

19 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation#WhatDoesitMean>

20 The National Strategies, 2008.

21 <https://www.teaching.unsw.edu.au/group-work>

22 <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

23 <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>