

TESIS DOCTORAL

2019

ANTECEDENTES, ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DE LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA ESPAÑOLA EN FABRICACIÓN ADITIVA

MARÍA DEL PUERTO PÉREZ PÉREZ

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Directores:

Dr. MIGUEL ÁNGEL SEBASTIÁN PÉREZ

Dr. EMILIO GÓMEZ GARCÍA

ANTECEDENTES, ANÁLISIS Y PROSPECTIVA
DE LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA
ESPAÑOLA EN FABRICACIÓN ADITIVA

MARÍA DEL PUERTO PÉREZ PÉREZ

Ingeniera Industrial
Universidad Pontificia Comillas (ICAI)

2019

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado en el ámbito de las actividades doctorales que ha realizado la doctoranda en la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (EIDUNED). Quiero agradecer en primer lugar el soporte prestado por dicha institución.

Deseo reconocer la generosidad de todos los profesores y expertos que han participado con su tiempo y con su conocimiento en la investigación aportando sus opiniones de forma desinteresada. Gracias a ellos ha sido posible elaborar este trabajo.

De una forma especial, quiero agradecer a mis directores de tesis, los profesores Miguel Ángel Sebastián Pérez y Emilio Gómez García, por su generosidad y su trabajo incansable, muchas veces a deshoras, por su flexibilidad y su buen hacer. Su confianza y la oportunidad de realizar este trabajo sin apenas conocerme han supuesto dos grandes regalos inesperados. Gracias por vuestras siempre agradecidas recomendaciones y pautas.

Aunque no es posible nombrar a todos los que quisiera, mi agradecimiento sincero a mi familia, amigos y colegas, que me han ayudado a encontrar el tiempo suficiente para elaborar este trabajo pese a las dificultades y las pérdidas del camino, y me han animado en los momentos de duda.

Gracias a Miguel, Cristina e Isabela, que prendieron la chispa de este largo camino del postgrado, convencidos de que llegaría al final.

A Gema y Pablo que no dudaron en prestarme su ayuda para iniciar la búsqueda de directores y que siempre están ahí, incluso a pesar de las fronteras.

A mis amigas Maria, Maria Luisa y Rocío, compañeras del viaje de la vida, siempre animadoras de todos mis proyectos.

A Amparo, Merche, Ángela, César, Javier y Jonay, mi tribu, por ayudarme en los momentos críticos proporcionándome soporte familiar, tiempo y tranquilidad.

A Luci, mi maestra de la paciencia.

Gracias a todos por vuestra amistad, por creer en mí y por vuestra ayuda nunca suficientemente agradecida.

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Julio y Lucía, trabajadores incansables que supieron inculcarme la alegría del estudio y del conocimiento, y el valor de la perseverancia, y que desafortunadamente no han podido ver el resultado de esta investigación. Mi gratitud infinita y sincera por vuestro amor incondicional capaz de impulsarme a territorios desconocidos.

A Carlos, fuente inagotable de energía y alegría.

Gracias.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS, ALCANCE Y ESTRUCTURA	7
3. METODOLOGÍA	15
3.1. Métodos de investigación	17
3.2. Fases de la elaboración de la investigación	19
4. ESTADO DEL ARTE	21
4.1. Análisis bibliométrico	24
4.2. Consideraciones generales sobre normas	27
4.2.1. Estructura de las normas ISO/ASTM sobre AM	30

4.2.1. Estado actual de los trabajos sobre normas ISO de Fabricación Aditiva.....	31
4.2.2. Normas publicadas por AENOR sobre Fabricación Aditiva	33
4.2.1. Análisis de contenidos de normas de Fabricación Aditiva.....	39
4.3. Análisis clasificatorio de los procesos de Fabricación Aditiva	41
4.4. Implicaciones en educación y diseño de programas formativos.....	53
4.5. Implicaciones y consecuencias en el empleo	54
4.5.1. Nuevas profesiones y desaparición de algunas de las actuales.....	55
4.5.1. Brecha digital.....	56
4.5.2. Mercado laboral	59
4.5.3. Inversión en I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación tecnológica) en España.....	60
5. LA FABRICACIÓN ADITIVA EN 2030	63
5.1. La Fabricación Aditiva en 2030	65
5.2. Desarrollo de la elaboración de la prospección.....	66
5.3. Desarrollo de las etapas principales de la prospección Delphi	68
5.3.1. ETAPA 1: Formulación del problema	68
5.3.2. ETAPA 2: Selección de expertos	77
5.3.3. ETAPA 3: Ejecución de la prospección Delphi	78
5.4. Cronología de la encuesta.....	80
6. LA FABRICACIÓN ADITIVA EN EL GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA.....	87
6.1. Desarrollo de la elaboración de la encuesta.....	89
6.1.1. Centros que imparten Grado en Ingeniería Mecánica.....	90
6.1.2. Planes de estudio de las universidades.....	93
6.1.3. Selección de expertos	94
6.1.4. Diseño del cuestionario.....	94
6.2. Cronología de la encuesta.....	98

7. RESULTADOS	101
7.1. Resultados de la prospección Delphi sobre la Fabricación Aditiva en 2030...	103
7.1.1. Población de la consulta y efecto consenso	103
7.1.2. Resultados del Bloque 1	106
7.1.3. Resultados del Bloque 2	115
7.1.4. Resultados del Bloque 3	119
7.2. Resultados de la investigación sobre la formación en ingeniería mecánica.....	123
7.2.1. Población de la consulta.....	123
7.2.1. Respuestas a la consulta	125
8. CONCLUSIONES Y POSIBLES LINEAS FUTURAS	137
8.1. Introducción	139
8.2. La Fabricación Aditiva en 2030	140
8.3. La formación actual y futura en fabricación aditiva	142
8.4. Posibles líneas futuras.....	145
9. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	147
10. ANEXO 1: CONSULTA REALIZADA A LOS PROFESORES	165
11. ANEXO 2: LISTA DE UNIVERSIDADES Y CENTROS CONSULTADOS.	169
11.1. Universidades y centros ordenados por Comunidad Autónoma	171
11.2. Universidades y centros ordenados por el nombre de la Universidad	176
11.3. Universidades y centros: Tabla 1	181
11.4. Universidades y centros: Tabla 2	187
12. ANEXO 3: CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA DE INGENIERIA DE FABRICACIÓN DE LAS UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS QUE IMPARTEN GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICO O ELECTROMECAÁNICA	195
12.1. Universidad Alfonso X el Sabio (Ingeniería de fabricación_9 ETCS)	197
12.2. Universidad Autónoma de Barcelona (Ingeniería de procesos de fabricación_6 ETCS)	198

12.3. Universidad Carlos III de Madrid (Tecnología mecánica_6 ETCS).....	198
12.4. Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila (Metrología, calidad y procesos de fabricación_8 ETCS).....	199
12.5. Universidad de A Coruña (Tecnologías de la Fabricación_6 ETCS).....	200
12.6. Universidad de Almería (Tecnología de la Fabricación_6 ETCS).....	201
12.7. Universidad de Burgos (Tecnología mecánica I_6 ETCS)	201
12.8. Universidad de Cádiz (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	207
12.9. Universidad de Cantabria (Procesos de fabricación I_6 ETCS)	208
12.10. Universidad de Castilla-La Mancha (Tecnología de fabricación_6 ETCS) ...	209
12.11. Universidad de Córdoba (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	209
12.12. Universidad de Deusto (Sistemas de fabricación_6 ETCS)	210
12.13. Universidad de Extremadura (Procesos de fabricación I_6 ETCS).....	211
12.14. Universidad de Girona (<i>Manufacturing processes 1_6</i> ETCS)	212
12.15. Universidad de Huelva (Tecnología mecánica I_6 ETCS)	212
12.16. Universidad de Jaén (Ingeniería de fabricación_6 ETCS).....	217
12.17. Universidad de La Laguna (Tecnología mecánica_6 ETCS)	219
12.18. Universidad de La Rioja (Tecnología de fabricación_6 ETCS)	221
12.19. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Fundamentos de fabricación y producción_4,5 ETCS)	222
12.20. Universidad de León (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	224
12.21. Universidad de Lleida (Tecnologías de fabricación_6 ETCS).....	224
12.22. Universidad de Málaga (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	225
12.23. Universidad de Mondragón (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS)	226
12.24. Universidad de Navarra (Tecnología de materiales_4,5 ETCS).....	229
12.25. Universidad de Oviedo (Procesos de Fabricación_6 ETCS).....	231
12.26. Universidad de Salamanca (Tecnología de producción y fabricación_6 ETCS)	232
12.27. Universidad de Sevilla (Procesos de Fabricación_6 ETCS).....	232

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

12.28. Universidad de Valladolid (Sistemas de producción y fabricación_4,5 ETCS)	236
12.29. Universidad de Vigo (Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación _6 ETCS). Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín.....	236
12.30. Universidad de Vigo (Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación _6 ETCS). Escuela de Ingeniería Industrial.....	239
12.31. Universidad de Zaragoza (Tecnologías de fabricación I y II_6 ETCS)	242
12.32. Universidad del País Vasco (Sistemas de Producción y Fabricación_6 ETCS)	244
12.33. Universidad Jaime I de Castellón (Tecnologías de Fabricación_6 ETCS)	246
12.34. Universidad Loyola Andalucía (<i>Manufacturing Technology</i> _6 ETCS)	247
12.35. Universidad Miguel Hernández de Elche (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	247
12.36. Universidad Nacional de Educación a Distancia (Tecnologías de Fabricación_5 ETCS).....	248
12.37. Universidad Nebrija (<i>Industrial processes I</i> _6 ETCS).....	248
12.38. Universidad Politécnica de Cartagena (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)	249
12.39. Universidad Politécnica de Cataluña (Tecnología Mecánica_6 ETCS)	250
12.40. Universidad Politécnica de Madrid (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS). Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial.	253
12.41. Universidad Politécnica de Madrid (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.	254
12.42. Universidad Politécnica de Valencia (Sistemas y Procesos de Fabricación_4,5 ETCS).....	254
12.43. Universidad Pompeu Fabra (Procesos de conformación_4 ETCS).....	255
12.44. Universidad Pontificia Comillas (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS)	256
12.45. Universidad Pública de Navarra (Tecnología de fabricación mecánica_6 ETCS).....	257
12.46. Universidad Rey Juan Carlos (Procesos de fabricación I_6 ETCS).....	258

12.47. Universidad Rovira i Virgili (Tecnología mecánica_6 ETCS)..... 258

**13. ANEXO 4: PLANES DE ESTUDIO DE LAS UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS
QUE IMPARTEN GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA O
ELECTROMECÁNICA261**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la educación superior en España (Fuente: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).....	11
Figura 2. Número de artículos anuales publicados en la <i>Web Of Science</i> sobre Fabricación Aditiva.....	26
Figura 3. Evolución del número de búsquedas en Google del término “ <i>Additive Manufacturing</i> ”	27
Figura 4. Fases de la Fabricación Aditiva.	29
Figura 5. Estructura de las normas ISO/ASTM sobre AM [87].....	32
Figura 6. Probabilidad de distribución de ocupados en España por grado de automatización.	56
Figura 7. Fases principales del proceso Delphi.	66
Figura 8. Pasos principales del proceso de prospección.....	68
Figura 9. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 1.....	78
Figura 10. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 2.....	79
Figura 11. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 3.....	79
Figura 12. Imagen de inicio de encuesta Delphi en 1ª ronda.....	81
Figura 13. Imagen de inicio de encuesta Delphi en 2ª ronda.....	83
Figura 14. Flujograma de tareas de la investigación.....	90

Figura 15. Centros que imparten actualmente formación de Ingeniería Mecánica en España por Comunidad Autónoma.....	93
Figura 16. Esquema de flujo de preguntas del formulario.	95
Figura 17. Ejemplo de formulación de preguntas de la encuesta a profesores.	97
Figura 18. Imagen de inicio de encuesta enviada a profesores.....	99
Figura 19. Vista de la portada de la encuesta una vez cerrada.	100
Figura 20. Participación de los expertos en las dos rondas de la prospección Delphi, visión grafica según el origen de sus centros o universidades con denominación de las Comunidades Autónomas de España.....	103
Figura 21. Desviación típica de las respuestas de la 1ª y 2ª rondas de consulta.	105
Figura 22. Resultado de la pregunta 7 del Bloque 1.	107
Figura 23. Resultado de la pregunta 3 del Bloque 1.....	108
Figura 24. Resultado de la pregunta 15 del Bloque 1.....	109
Figura 25. Gráfico de resultados de cuestiones del Bloque 1.....	113
Figura 26. Gráfico de resultados de cuestiones del Bloque 2.....	117
Figura 27. Gráfico de resultados Bloque 3: tecnologías.	119
Figura 28. Gráfico de resultados Bloque 3: puntos fuertes de la AM.....	121
Figura 29. Gráfico de resultados Bloque 3: puntos débiles de la AM.....	122
Figura 30. Mapa de distribución de los expertos que han participado en porcentaje respecto el total de participantes.	125
Figura 31. Importancia de la AM en la formación de los ingenieros mecánicos.	126
Figura 32. Horas/año de clase teórica en AM.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de artículos publicados en la <i>Web Of Science</i> sobre Fabricación Aditiva por décadas.	25
Tabla 2. Normas publicadas por ISO sobre Fabricación Aditiva.	33
Tabla 3. Normas UNE sobre Fabricación Aditiva.....	34
Tabla 4. Clasificación de estructura de la normativa UNE-EN ISO publicada sobre Fabricación Aditiva.....	37
Tabla 5. Valoración de contenidos de las normas.	39
Tabla 6. Procesos de fabricación según Kalpakjian y Schmid.	42
Tabla 7. Características de las tecnologías de producción aditiva según Kalpakjian y Schmid (Kalpakjian & Schmid, 2008).....	43
Tabla 8. Comparación de categorías de procesos de fabricación.....	44
Tabla 9. Clasificación de propiedades mecánicas de las materias primas de AM (Kalpakjian y Schmid) (Kalpakjian & Schmid, 2008).....	45
Tabla 10. Categorías de proceso según UNE-EN ISO 17296-2:2017.....	47
Tabla 11. Clasificaciones de tecnologías comerciales según las siete categorías de procesos de UNE-EN ISO 17296-2:2017. Parte 1.....	49
Tabla 12. Clasificaciones de tecnologías comerciales según las siete categorías de procesos de UNE-EN ISO 17296-2:2017. Parte 2.....	51
Tabla 13. Probabilidad de distribución de ocupados en España por grado de automatización	57

Tabla 14. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 1 de preguntas.....	69
Tabla 15. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 2 de preguntas.....	71
Tabla 16. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 3 de preguntas.....	73
Tabla 17: Participantes en la prospección Delphi en las dos rondas por origen geográfico. % respecto el total de cada consulta.....	104
Tabla 18. Desviación típica en número de respuestas Bloque 1 de preguntas (%).	106
Tabla 19. Desviación típica en número de respuestas Bloque 2 de preguntas (%).	106
Tabla 20. Resultados de preguntas Bloque 1.....	113
Tabla 21. Resultados de preguntas Bloque 2 (expresados en %). Process categories: 1: Vat Photopolymerization; 2:Material Extrusion; 3:Material Jetting; 4:Powder Bed Fusion; 5:Binder Jetting; 6:Directed Energy Deposition; 7:Sheet Lamination.	117
Tabla 22. Resultados sobre tecnologías. Bloque 3.	119
Tabla 23. Resultados sobre puntos fuertes de AM. Bloque 3.....	120
Tabla 24. Resultados sobre puntos débiles de AM. Bloque 3.....	122
Tabla 25. Reparto geográfico de los expertos identificados, contactados, y los que han participado.....	124
Tabla 26. Importancia de la AM en formación de los ingenieros mecánicos.....	125
Tabla 27. Horas/año de clase teórica en AM.....	127
Tabla 28. Suficiencia de horas en formación teórica.....	128
Tabla 29. Inclusión de la formación en AM dentro de ingeniería de fabricación.....	128
Tabla 30: (No imparten formación teórica). Necesidad de la formación teórica.....	129
Tabla 31. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Horas/año convenientes para la formación teórica.....	129
Tabla 32. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Periodo en el que se estima que la AM formará parte del plan de estudios.....	130
Tabla 33. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Inclusión de la formación en AM dentro de ingeniería de fabricación.	130
Tabla 34. % de implantación de la formación práctica en AM.	130
Tabla 35. Horas/año de exposición a la práctica de la AM (voluntaria o no).....	131

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

Tabla 36. Horas/año de práctica obligatoria.....	131
Tabla 37. Marco de la formación práctica en AM.....	131
Tabla 38. (No imparte formación práctica). Necesidad de formación práctica en AM.....	132
Tabla 39. (No imparte formación práctica). Conveniencia de la exposición a la formación práctica en AM.	132
Tabla 40. (No imparte formación práctica). Periodo en el que se estima que la AM formará parte del plan de estudios.	132
Tabla 41. Créditos para la AM.....	133
Tabla 42. ¿La AM aporta competencias adicionales?.....	134
Tabla 43. ¿Qué competencias adicionales aporta la AM?.....	134
Tabla 44. Aportación de la AM en STEM.....	135
Tabla 45. Áreas de ingeniería de fabricación a reducir para poder incluir la AM.	136

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- ANECA: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. “ANECA es el órgano de evaluación de la calidad de la educación superior de alcance nacional encargado de realizar actividades de evaluación, certificación y acreditación, del sistema universitario español con el fin de su mejora continua y adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).” <http://www.aneca.es/ANECA/Presentacion> .
- AM: Fabricación Aditiva (*Additive Manufacturing* en inglés).
- ASTM: *American Society for Testing and Materials* o *ASTM International* es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.
- EQF: Marco europeo de cualificaciones para el aprendizaje a lo largo de la vida ([European Qualification Framework](http://www.todofp.es/en/profesores/europa/fp-europa/eqf/que-es-eqf.html)), marco común de referencia que relaciona entre sí los sistemas de cualificaciones de los países y sirve de mecanismo de conversión para mejorar la interpretación y comprensión de las cualificaciones de diferentes países y sistemas de Europa <http://www.todofp.es/en/profesores/europa/fp-europa/eqf/que-es-eqf.html> .
- ECTS: Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (*European Credit Transfer System*). Es el sistema adoptado por todas las universidades del Espacio

Europeo de Educación Superior (EEES) para garantizar la homogeneidad y la calidad de los estudios que ofrecen.

FECYT: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. <https://www.fecyt.es/>

IA: Inteligencia Artificial (*Artificial intelligence*).

ICS: *International Classification for Standards*.

ISO: Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*, en inglés) es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización.

I+D+i: Investigación, Desarrollo e innovación tecnológica.

MECES: Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior.

<http://www.educacionyfp.gob.es/educacion-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/catalogo-servicios/gestion-titulos/informacion-comun/naric/cuadro-meces.pdf>

MECU: Marco Español de Cualificaciones Universitarias.

<http://www.educacionyfp.gob.es/educacion/mc/mecu/presentacion.html>

PYMES: Pequeñas Y Medianas Empresas.

RUCT: Registro de Universidades, Centros y Títulos publicado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España. “El Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT) proporciona la información más relevante sobre las universidades, centros y títulos que conforman el sistema universitario español, en el que constan inscritos los nuevos títulos de Grado, Máster y Doctorado oficiales. Además, el RUCT tiene carácter público y de registro administrativo, y ha sido concebido como un instrumento en continua actualización.”

<http://tramites.administracion.gob.es/comunidad/tramites/recurso/registro-de-universidades-centros-y-titulos-ruct/021f9739-a0db-444a-a46d-52f71b0f724e>

STEAM: Acrónimo de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas (*science, technology, engineering, arts and mathematic* en inglés).

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

STEM: Acrónimo de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (*science, technology, engineering and mathematic* en inglés).

TIC: Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

UNE: Asociación Española de Normalización (Acrónimo de Una Norma Española).

UNED: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

1. INTRODUCCIÓN

La Fabricación Aditiva (*Additive manufacturing* en inglés o AM según su acrónimo en inglés) es un conjunto de tecnologías disruptivas [1], [2] que están transformando o complementando el mundo de la manufactura. El conocimiento del impacto y de la velocidad de implantación de las tecnologías de AM en las distintas áreas de fabricación nos permitiría saber la profundidad del cambio que se avecina y la importancia de estas tecnologías en el ámbito fabril.

Según define la norma UNE-EN ISO /ASTM 52900:2017 [3] “*La fabricación aditiva es un proceso de unión de materiales para fabricar objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa a capa, en oposición a los métodos de fabricación mediante eliminación de material y de conformado*”, por tanto el término AM agrupa a un conjunto de tecnologías con características similares en cuanto a la forma de fabricación con capacidad para generar piezas a partir de un diseño digital y sin utilización de herramientas adicionales, habitualmente aportando material capa sobre capa [4].

Lo que actualmente se denomina Fabricación Aditiva, ha sido conocida con distintas acepciones desde la década de 1980, tales como *Rapid Prototyping (RP)*, *Rapid Manufacturing (RM)*; *3D Printing (Impresión 3D)*, *Rapid Tooling*, *Generative Manufacturing*, *eManufacturing*, *Constructive Manufacturing*, *Additive Layer Manufacturing-ALM*, *Direct Manufacturing*, *Direct Digital Manufacturing (DDM)*, *Freeform Fabrication (FFF)*, *Solid Freeform Fabrication (SFF)*, *Additive Manufacturing*, entre otros.

Aunque el término correcto que define a todas las tecnologías de este tipo es Fabricación Aditiva, muchos autores siguen utilizando el término impresión 3D como sinónimo debido a que este último es mucho más popular y conocido. En este documento se utilizarán indistintamente las dos denominaciones.

La impresión 3D engloba varias formas y técnicas de fabricación que no necesitan herramientas convencionales, obtienen productos con geometrías imposibles de conseguir con las técnicas “sustractivas” o tradicionales y pueden fabricar ciertas piezas finales incluso con más de un material [5]. Por estas características, entre otras, la impresión 3D se considera una revolución. La AM no es una única tecnología sino una multitud de tecnologías diferentes [6]-[8], que forman parte de lo que se ha venido llamando 4ª Revolución Industrial [9] y que actualmente se encuentran en pleno desarrollo, algunas en fase de investigación y otras suficientemente maduras

como para ser utilizadas en la fabricación de productos finales, esto es, productos dispuestos para su uso [10], [11].

La impresión 3D se está desarrollando a nivel mundial como prueban los trabajos de normalización [12]-[15], los acuerdos entre ISO y ASTM del 2013 [16] y las normas publicadas tanto por ISO [3], [17]-[21] como por AENOR [22]. La publicación de estas normas indica la importancia de estas tecnologías y la intención de ordenación de las instituciones normativas ante sus inmensas posibilidades. Las normas actuales aportan una clasificación de siete “categorías de procesos”. ISO todavía no ha publicado normas específicas relativas a las tecnologías, y aunque trabaja en ello existe una dificultad objetiva, dado que algunas de las mencionadas tecnologías están en fase de desarrollo y no han alcanzado su madurez [23].

La velocidad de desarrollo y las últimas aplicaciones en los sectores más innovadores (automoción [24], aeronáutica [25], [26] y medicina [27]) en contraposición con la diferencia de nivel de desarrollo entre las distintas tecnologías y cómo puede afectar a las diferentes áreas de comercialización, genera una de las cuestiones que esta investigación trata de clarificar: cómo se desarrollará la fabricación en la próxima década.

Para resolver esta cuestión se ha decidido elaborar un cuestionario específico y realizar una prospección con metodología Delphi para que los expertos en la materia puedan dar a conocer su opinión acerca del futuro de la fabricación, y puedan considerar cuáles de las nuevas tecnologías serán más utilizadas en un tiempo relativamente próximo y cómo estas nuevas formas de fabricación afectarán a los consumidores, a los fabricantes, o a los propios materiales y productos.

Existe un razonable consenso entre la comunidad científica por el que se puede afirmar que la AM transformará los actuales procesos de fabricación, la forma de fabricar, las cadenas de suministros, la logística [28], los modelos de negocio [29], los productos resultantes (electrónica embebida, fabricación con varios materiales simultáneamente, piezas únicas, series cortas, geometrías imposibles hasta ahora), la sostenibilidad de la fabricación y el comportamiento de los usuarios y su definición (ahora también diseñadores y productores o *prosumer*) [28]-[31]. Es decir, modificará los conceptos actuales de cliente y proveedor [8], [32], alterará la manera actual en la que se concibe la comercialización de los bienes, obligará a que se generen nuevas regulaciones desde los gobiernos, cambiará el concepto de garantía de fabricación actual, modificará los parámetros actuales de percepción de calidad y la certificación de productos se hará de alguna forma que todavía se desconoce [33]. Por tanto, la

utilización de la Impresión 3D puede suponer cambios importantes en la economía, en la sociedad y en la industria del futuro [7], [34], [35].

Para afrontar estos cambios, las empresas requerirán de personal competente que pueda llevar a cabo los cambios pertinentes y que sea capaz de utilizar las tecnologías de Fabricación Aditiva de forma exclusiva o de manera inclusiva en los procesos complejos de fabricación [36]-[38].

Ciertas condiciones han de cumplirse para que ese panorama futuro en la fabricación sea una realidad. Una de ellas será disponer de personal adecuadamente cualificado que sea capaz de afrontar los retos futuros de la fabricación. La necesidad de personal con aptitudes y habilidades específicas en materias de fabricación, y el histórico de experiencias realizadas en torno a la docencia combinada con tecnologías de Fabricación Aditiva [8], [39]-[45], permiten enunciar las ventajas de incluir la Impresión 3D en los planes de estudios, desde la educación primaria hasta la universitaria.

Una de las finalidades de la enseñanza universitaria según el MECU (Marco Español de Cualificaciones Universitarias) es la “formación de calidad que atienda a los retos y desafíos del conocimiento y dé respuesta a las necesidades de la sociedad”[46]. La enseñanza, por tanto, debería estar en consonancia con la evolución de las diversas tecnologías de AM y con la inclusión futura en la fabricación y en la sociedad. Sin embargo, no existen estudios sobre la formación que deben recibir los futuros técnicos en Fabricación Aditiva, ni acuerdo global de cuándo debe ser iniciada esta formación. Los ingenieros de un futuro cercano deberán estar adecuadamente formados y preparados para afrontar estos retos tecnológicos [47], [48]. Para ello es esencial conocer el estado actual de la formación en las ingenierías respecto de estas materias [49], particularmente en aquellas ingenierías del ámbito industrial, como la Ingeniería Mecánica [50].

¿Consideran los profesores que esta formación es necesaria? ¿Están impartiendo formación en AM a los futuros ingenieros? ¿La enseñanza que se imparte, es oficial, está reglada en los planes de estudio de las universidades? ¿Es adecuada la velocidad a la que se proyectan los distintos cambios de programas de formación y planes de estudio?

Este trabajo presenta el estado actual de los planes de estudio de las universidades españolas que imparten el título de Grado en Ingeniería Mecánica, en particular el plan de estudios de la asignatura relacionada con la fabricación que se denominará en esta tesis con el término “Ingeniería de Fabricación”.

También se despliegan las respuestas obtenidas en una encuesta realizada en diciembre de 2018 a más de 40 profesores relacionados con la fabricación. La consulta aporta información sobre la situación real de la formación en Fabricación Aditiva que se está impartiendo en las enseñanzas técnicas superiores en España y sobre la importancia que los profesores dan a dicha formación actual y futura.

Las consultas realizadas permiten describir la situación actual de la formación superior en AM, y por tanto el punto de partida de la modificación que dichos planes de estudio deben acometer para que los estudiantes adquieran en un futuro los conocimientos y habilidades necesarios para utilizar la Fabricación Aditiva en su ejercicio profesional tal y como refleja la situación que se deduce de la prospección a los expertos en el sector.

Para centrar el ámbito de este estudio y enfocar la situación actual respecto de la Impresión 3D, este trabajo incluye además un resumen de las distintas tecnologías de AM clasificadas hasta el momento, así como una exposición de las distintas normas publicadas al respecto. También encuadra esta nueva forma de fabricación en lo que se ha denominado “industria 4.0” o “Cuarta Revolución Industrial”.

2. OBJETIVOS, ALCANCE Y ESTRUCTURA

La revisión bibliográfica y el análisis bibliométrico sobre Fabricación Aditiva, que se aporta más adelante, permite apreciar la relevancia del tema entre los investigadores y sobre el público en general. Pese a que el interés es evidente, se desconoce la manera en la que las tecnologías de Fabricación Aditiva evolucionarán. Además de lo anterior y dado que muchas de estas tecnologías están en pleno desarrollo, no existe un documento base que sirva como guía para la formación de futuros técnicos.

El objetivo principal de esta tesis es exponer una posible prospectiva de la situación de evolución de la impresión 3D en un futuro relativamente cercano (año 2030), presentar la situación actual de la enseñanza universitaria española en el campo de la fabricación, particularmente en la asignatura de Ingeniería de Fabricación que se imparte en el Grado en Ingeniería Mecánica, y consecuentemente perfilar los cambios que han de ocurrir en la enseñanza para que los futuros técnicos estén preparados para afrontar la perspectiva dibujada para el 2030.

Para lograr este objetivo, es importante enmarcar la situación actual de desarrollo de las distintas tecnologías de AM, para lo cual se resumen los diferentes tipos de fabricación recogidos bajo la denominación de Fabricación Aditiva y se clasifican según distintos criterios.

La publicación de normas de un sector proporciona los elementos fundamentales para la construcción regulada y el desarrollo ordenado de esa industria. La estandarización de un sector refleja su estado de evolución puesto que las normas publicadas establecen las reglas de funcionamiento del mismo y el modo en el que deben operar las partes interesadas. Por tanto se presenta un análisis de los contenidos esenciales y taxonómicos de las normas específicas publicadas sobre la impresión 3D. Además, y puesto que la Fabricación Aditiva se enmarca dentro de lo que se denomina cuarta revolución industrial, se presenta una perspectiva de la aplicación de nuevas tecnologías en la sociedad y en el mercado laboral.

Uno de los objetivos específicos de este trabajo es exponer un panorama amplio de cómo será la situación de la Fabricación Aditiva en 2030 a través de las respuestas a una consulta Delphi [51]-[56] realizada en el año 2018 y en la que han participado más de 100 expertos en la materia. Las conclusiones de la encuesta permiten perfilar una probable situación de mercado, de implantación y de avance de estas tecnologías en el año 2030, obteniendo conclusiones sobre los aspectos o las áreas con mayores posibilidades de desarrollo y crecimiento.

Por otra parte, la Impresión 3D no es sólo un grupo de tecnologías sino un instrumento social que requerirá nuevas maneras de pensamiento y de cooperación. La utilización de la AM en los distintos niveles de enseñanza puede integrar de forma exitosa diversas disciplinas tales como matemáticas, diseño, arte, ingeniería, materiales, orientación al cliente, gestión de proyectos o gestión del tiempo, entre otros [57]. Un segundo objetivo específico de esta tesis es mostrar la situación actual de la educación universitaria española en cuanto a la Fabricación Aditiva, y la perspectiva futura de esta formación según la opinión de más de 40 profesores de enseñanza superior. Para conseguir este objetivo se examinan los planes de estudio actuales del Grado de Ingeniería Mecánica y la asignatura de Ingeniería de Fabricación en particular. También se despliegan las respuestas obtenidas y se muestran los resultados de la encuesta realizada a los profesores.

Con la comparativa relativa de las dos consultas efectuadas se pretende obtener una visión de la posible necesidad de adecuación de los planes de estudio a la formación requerida para que los futuros técnicos estén preparados ante los retos que se avecinan, y de cuánto y cuándo sería conveniente que cambiasen esos planes de estudio para llegar a adecuarse al panorama de fabricación del 2030 que evidencian los expertos en el sector.

El estudio sobre el estado actual y la investigación sobre la evolución de la Impresión 3D tienen alcance mundial. Los expertos que han participado en la prospección Delphi sobre la situación de la AM en el 2030 son mayoritariamente españoles aunque la consulta versa sobre la situación global de la impresión 3D en el 2030, no específicamente la situación española.

La exploración sobre la enseñanza, la elección del Grado y de la asignatura sobre la que se realiza el examen de la formación actual se circunscribe a educación actual en España. Todos los profesores que han colaborado en el estudio de la enseñanza en fabricación el Grado en Ingeniería Mecánica, desarrollan su labor docente en escuelas de ingeniería españolas.

La investigación se centra en la asignatura de “Ingeniería de Fabricación” (o denominaciones homólogas) impartida en los Grados en Ingeniería Mecánica y Electromecánica. Esta formación corresponde a un nivel MECES 2 (nivel de Grado) según el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior y es equivalente a un *Bachelor’s level 6* según el Marco Europeo de Cualificaciones ([European Qualification Framework, EQF](#))[58]. El nivel de formación MECES 2 aporta conocimientos avanzados en un campo de trabajo o estudio que requiera una comprensión crítica de teorías y principios, y se obtienen las destrezas avanzadas que

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

acrediten el dominio y las dotes de innovación necesarias para resolver problemas complejos e imprevisibles en un campo especializado de trabajo o estudio [59]. La clasificación de niveles de la enseñanza universitaria española corresponde al llamado “Acuerdo de Bolonia” firmado en 1999 y aprobado por el Gobierno español en 2007. Las equivalencias con el plan anterior y la ordenación de niveles publicadas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte [60] se muestra en la Figura 1.

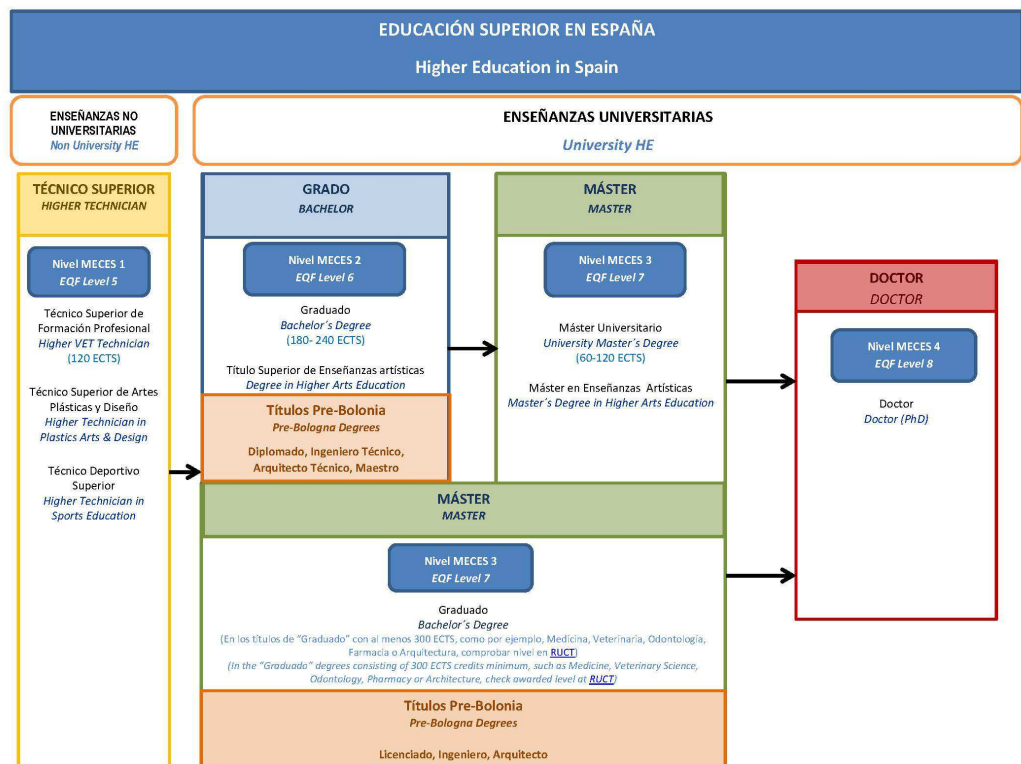


Figura 1. Esquema de la educación superior en España (Fuente: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte)

Para exponer los temas mencionados, la Tesis se divide en diferentes capítulos. Estas divisiones tratan de favorecer la lectura y comprensión del trabajo realizado. A continuación se presenta cada uno de los apartados y se explica brevemente su contenido y su propósito.

En el capítulo **INTRODUCCIÓN** sitúa al lector en el ámbito en el que se desarrolla el trabajo. Se demuestra la importancia de la impresión 3D en la industria y por tanto en la docencia, se evidencia la vinculación con la industria 4.0, se indican aspectos medioambientales, se referencian algunos estudios previos y autores relevantes.

En el capítulo **OBJETIVOS, ALCANCE Y ESTRUCTURA** se enuncian los objetivos del trabajo y se justifica la importancia de los mismos. Se acotan y se definen los límites del estudio. Se explica brevemente la organización del documento y se expone el contenido de cada capítulo.

En el capítulo **METODOLOGÍA** se relacionan los pasos seguidos en la elaboración del trabajo. Se indican los recursos metodológicos, se referencian los métodos científicos utilizados, con particular interés en el método de prospección Delphi.

El capítulo **ESTADO DEL ARTE** reúne información sobre la definición de la Fabricación Aditiva, las tecnologías que se agrupan en torno a este término, aportando la clasificación de dichas tecnologías según distintos criterios. Este capítulo presenta las normas específicas de la impresión 3D que están publicadas, y expone su origen y clasificación. En este apartado se relaciona la Fabricación Aditiva con la cuarta revolución industrial y se resumen las consecuencias de esta última en la sociedad. Todo lo anterior se documenta con referencias a estudios previos, y sitúa al lector en marco actual de desarrollo de las tecnologías AM.

El capítulo **LA FABRICACIÓN ADITIVA EN 2030** incluye la información sobre la prospectiva realizada a los expertos en fabricación sobre lo que consideran será la Impresión 3D en el año 2030. En el capítulo **LA FABRICACIÓN ADITIVA EN EL GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA** se expone el modo y las razones por las que se ha elaborado la encuesta sobre la situación actual de la formación que las Universidades imparten actualmente en temas reaccionados con la Fabricación Aditiva. También se incluyen las respuestas sobre el futuro que esperan los profesores al respecto.

Las secciones anteriores integran el desarrollo de la Tesis. En ambos apartados se explica la estructura y las condiciones de la elaboración, de la población y de las fechas de las encuestas realizadas.

El capítulo **RESULTADOS** incluye el análisis de los resultados obtenidos y las deducciones que se derivan de la investigación. Se exponen las respuestas de los más de 100 expertos que han participado en la primera consulta y los más de 40 profesores que han colaborado en la segunda, mientras que en el capítulo **CONCLUSIONES Y POSIBLES LÍNEAS FUTURAS** se señalan los principales resultados y efectos que emanan de la Tesis así como las posibles líneas de investigación que podrían derivarse de la misma.

Finalmente, se incluye el capítulo de **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN**, con el listado de las referencias utilizadas para posibilitar su consulta, y los **ANEXOS** que complementan la información de la investigación realizada.

El **ANEXO 1** muestra de forma gráfica las cuestiones planteadas a los profesores en la segunda parte de la investigación. El gráfico facilita la comprensión del flujo diseñado.

El **ANEXO 2** incluye varias tablas con los nombres de las universidades que imparten el título de Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electromecánica en España. Además contiene información sobre varios de algunos datos académicos relevantes ordenados según distintos criterios.

Los contenidos de la asignatura de fabricación de las universidades españolas que imparten Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica se listan en el **ANEXO 3**.

Por último, se aporta de forma externa a este documento un **ANEXO 4** con el compendio de los diferentes planes de estudio de los Grados en Ingeniería Mecánica y Electromecánica publicados por las universidades españolas. Dada la extensión del apartado y puesto que la información sobre los planes de estudio es interesante en el marco de la investigación pero no es esencial, se ha decidido incorporar la información y entregarla en un documento aparte, evitando así que se desvirtúe el foco y el tamaño de este escrito.

3. METODOLOGÍA

La utilización de metodologías permite realizar la investigación de forma ordenada, racional y objetiva, también habilita para que se efectúe de forma eficiente, puesto que las tareas se ejecutan siguiendo procedimientos conocidos, y además permite que el trabajo se base en hechos y datos minimizando el sesgo personal del investigador.

Para alcanzar los objetivos propuestos en el capítulo 2 de la forma más objetiva posible, se utilizan distintas metodologías que permiten recabar, ordenar y analizar los datos obtenidos y que se enumeran en el apartado siguiente.

La aplicación de un método ordena y orienta cualquier actividad, también la investigación científica. Tal y como indica Abreu [61] “en el proceso de investigación científica es fundamental decidir qué método se va a utilizar (...) Esta selección del método depende de tres elementos: el tipo de fenómeno a estudiar, los objetivos de la investigación y la perspectiva de análisis del investigador”. De esta manera y de forma general se ha utilizado la revisión bibliográfica en el estudio de los antecedentes, así como en la revisión de las metodologías utilizadas por los expertos para realizar prospecciones. Se ha empleado la encuesta como método de consulta a los expertos en el sector, y para la exploración de las posibilidades futuras de la Fabricación Aditiva en 2030 teniendo en cuenta la situación actual se ha decidido utilizar la metodología Delphi, utilizada en estudios de prospección en otros trabajos científicos. Se ha seleccionado este método por entender que los expertos, profesores e investigadores en fabricación, componen una fuente de información adecuada y fidedigna con interés en el resultado de la investigación.

Aunque la consecuencia de la investigación sobre la formación actual y el resultado de las encuestas realizadas son cuantitativos, el resultado final de la tesis es también cualitativo, aportando una idea general de la posible evolución de la impresión 3D Y también de los cambios que puede experimentar la formación de técnicos en la materia

3.1. Métodos de investigación

Se listan a continuación los métodos de investigación científica que se han utilizado durante la investigación y como las distintas partes en las que han sido aplicados:

- **Método descriptivo:** como resultado de la observación y lectura sistemática sobre el objeto a investigar (la Fabricación Aditiva) y la ordenación de la información.

- **Método analítico:** utilizado en la exposición del estado de las tecnologías resumido en el capítulo Estado del Arte, buscando el conocimiento que se produce de la observación de la realidad, expresando y ordenando dicho conocimiento de manera que facilite la comprensión del lector. También se ha aplicado el método descriptivo para recopilar, clasificar y analizar la normativa publicada.
- **Método comparativo:** utilizado para establecer similitudes y diferencias de distintos elementos sometidos al estudio de manera que permite determinar las características de cada uno en relación con los demás.
- **Método inductivo** o planteamiento de una estrategia de razonamiento lógico por la que utiliza premisas particulares para llegar a una conclusión general. Así, después de la recopilación, comparación y análisis de las respuestas individuales a un conjunto de cuestiones, se pueden inducir una serie de características comunes o genéricas, que nos ayudan a presentar los resultados de la investigación.
- **Método deductivo.** Es un tipo de razonamiento usado para aplicar leyes o teorías a casos particulares, muy útil para generar conocimiento de otros conocimientos anteriores. La elaboración de las encuestas, la agrupación de las respuestas y las conclusiones de la tesis, utilizan el método deductivo.
- **Método Delphi:** El Método Delphi es una técnica de recogida de información que permite obtener la opinión de un grupo de individuos (expertos) mediante una consulta reiterada. Se trata de un procedimiento avalado por su utilización en numerosas prospecciones científicas, particularmente útil cuando no se tiene información objetiva o ante situaciones de incertidumbre [56], [62]-[65]. Según Landeta [52] las principales características del método son el anonimato, la interacción y retroalimentación controlada, la respuesta del grupo y la heterogeneidad de los participantes. El método se utiliza cuando no hay datos históricos para trabajar sobre un tema o cuando se pretende tener una visión sobre acontecimientos futuros. El Método Delphi trata de encontrar las respuestas con mayor convergencia identificándolas como escenarios de ocurrencia más probable. Por tanto se basa en el conocimiento y la intuición de los expertos, que una vez contestada la encuesta pueden modificar sus repuestas en función de los resultados del conjunto. Este procedimiento se ha utilizado en la primera parte de la prospección realizada a expertos en la que se define una situación probable de desarrollo de la AM en el 2030. Esta metodología consiste en elaborar una encuesta en torno al problema formulado y enviarla a un grupo de expertos seleccionados (primera ronda). Una vez obtenidas las respuestas individuales de la prospección, se tratan como

si fueran un todo y se utilizan las respuestas del conjunto. De nuevo se envía la misma encuesta a los expertos que hayan participado en la primera ronda para que respondan por segunda vez, pero esta vez se les informa de los resultados del conjunto obtenidos en la primera ronda. Así, los participantes pueden evaluar lo cerca/lejos que están cada una de sus valoraciones de la valoración media de la población consultada. Pueden plantearse su respuesta de la segunda ronda, bien enviando de nuevo la opción que eligieron en primera ronda (confirmación de opinión inicial), bien aceptando la opción de la media de la población como propia (cambiar la respuesta inicial para aceptar la media del grupo), bien acercando su respuesta inicial a la respuesta del grupo pero sin coincidir con ella (influencia del grupo en la respuesta individual). Las respuestas obtenidas generan unos nuevos resultados de la consulta, con mayor convergencia en las repuestas. La metodología Delphi no limita el número de iteraciones que se pueden aplicar, pero en el caso que nos ocupa, se han realizado dos rondas, después de las cuales se han elaborado los resultados que se presentan.

La utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha sido esencial en el desarrollo y elaboración de la investigación. Para poder hacer un resumen de la situación actual de desarrollo y aplicación de las tecnologías que se consideran como Fabricación Aditiva se ha recurrido a varias fuentes entre las que se cuentan la *Web of Science* [66], revistas digitales, y artículos recuperados desde Google Académico [67]. La normativa se ha consultado desde las páginas web de ISO[68], ASTM[69] y AENOR[22]. Todas las fuentes han sido consultadas a través de Internet.

Para la elaboración de las encuestas se ha utilizado la herramienta Formularios de Google (*Google Forms*) [70] y su envío a los destinatarios se ha realizado mediante correo electrónico[71]. Se ha empleado *Excel* (de Microsoft) como herramienta para recopilar, clasificar y analizar las respuestas obtenidas y *Word* (de Microsoft) como editor de texto para la redacción del documento.

3.2. Fases de la elaboración de la investigación

Para facilidad de comprensión de la extensión de la investigación, se puede dividir el trabajo completo en distintas etapas diferenciadas que podrían resumirse de forma breve de la siguiente manera:

- Análisis del estado del arte de la AM a nivel mundial. Exploración bibliográfica de documentos científicos publicados al respecto. Revisión sistemática y organizada de la bibliografía.
- Examen de la evolución y del desarrollo de normativa específica sobre AM. Estudio y comparativa de la normativa publicada al respecto.
- Investigación de los métodos de prospección científicos: el método Delphi.
- Elaboración de cuestionario y aplicación del método Delphi para conocer la hipótesis más probable de situación de la AM en el 2030.
- Búsqueda de expertos en fabricación. Envío de cuestionario. Recepción de respuestas. Análisis de resultados. Obtención de conclusiones.
- Búsqueda y examen de los planes de la enseñanza sobre fabricación en la educación superior en España. Foco en la asignatura de ingeniería de fabricación del Grado en Ingeniería Mecánica. Búsqueda de temarios y de libros de referencia.
- Elaboración de cuestionario sobre formación actual y futura de la AM en la asignatura de ingeniería de fabricación.
- Búsqueda de profesores universitarios relacionados con la fabricación. Envío de cuestionario. Recepción de respuestas. Análisis de resultados. Confección de conclusiones.
- Estudio de resultados y diagnóstico sobre la adecuación de la formación en fabricación a la hipotética situación futura propuesta por los expertos.

4. ESTADO DEL ARTE

La Fabricación Aditiva, también conocida como impresión 3D por sus aplicaciones de origen define a un conjunto de tecnologías con capacidad para fabricar objetos mediante la superposición o adición controlada de capas de material, de ahí su nombre, partiendo de un modelo digital en tres dimensiones. Por tanto no se requiere de herramientas convencionales para la generación del objeto sino que simplemente se aporta o no cierta cantidad de material allá donde es necesario. Con estas tecnologías “si puedes dibujarlo, puedes imprimirlo” [72]

La posibilidad de utilización de numerosas tecnologías, con distintos materiales y diversas condiciones hace que el posible objeto resultado de la fabricación pueda tener una gama de características y terminaciones muy amplias. Además de lo anterior, la aplicación de los procesos de AM pueden influir en los métodos de fabricación, en la logística, en las cadenas de suministro, en el comportamiento del consumidores o en la definición del diseñador y del fabricante, y su utilización puede generar nuevos modelos de negocio, nuevos productos o nuevas maneras de comercialización. Por estas razones numerosos autores consideran a impresión 3D como un grupo de tecnologías disruptivas.

Estas tecnologías no han nacido de forma agrupada y su desarrollo se está produciendo de forma heterogénea en distintas compañías y puntos geográficos [73] y con diferentes denominaciones. La primera de ellas, considerada después como AM, se comercializó en 1983 con la invención de la estereolitografía (*stereolithography*)[74]. Ésta y otras formas de fabricación de modo aditivo que aparecieron en la década de 1990 se desarrollaron en laboratorios de investigación o con pequeños promotores hasta la década de 2010. A partir de esta fecha se produce un avance importante en el desarrollo de las máquinas, un aumento significativo en la velocidad de producción, la expiración de los periodos de protección derivados de las patentes de los procesos originales de impresión y la universalización del uso de tecnología de la información y de computarización (la llamada cuarta revolución industrial). Todos estos factores provocan una explosión de información, descubrimientos, combinaciones y publicación de novedades con respecto a la impresión 3D. El conjunto de tecnologías AM es cada día más numeroso, ampliándose no sólo las tecnologías en sí sino también los materiales, las características de fabricación o la variedad de resultados posibles, habilitando su aplicación en distintos campos de fabricación y haciendo posible que prácticamente cualquiera pueda utilizarlas [75].

Para ilustrar el estado de situación, se incluye en este apartado un análisis bibliométrico que expone la evolución de los artículos académicos sobre la impresión 3D y refleja la importancia que crece entre el mundo académico e investigador.

La publicación de normas de un sector proporciona los elementos fundamentales sobre los que esa industria puede construirse de manera ordenada [76] e indica entre otros aspectos, su importancia, su uso extendido y la necesidad de reglas comunes para la utilización y la comercialización con garantías. Considerando la normalización como una herramienta de estandarización, este capítulo también contiene un resumen del estado de normalización de la Fabricación Aditiva, la clasificación de las distintas normas y el análisis de sus contenidos

Para facilitar la comprensión de las distintas maneras en las que es posible la Fabricación Aditiva, se incluye también un estudio clasificatorio de los procesos de AM en el que se aportan tablas con la definición de los distintos procesos, diagramas esquemáticos y ordenación en función de diferentes variables.

Para finalizar el capítulo se incluyen dos apartados en los que se exponen las implicaciones del uso de la impresión 3D en la educación y el empleo del futuro.

4.1. Análisis bibliométrico

Para analizar la bibliografía publicada referente a la Fabricación Aditiva, y comprobar el crecimiento exponencial desde su aparición, se ha realizado una búsqueda de las publicaciones académicas, desde 1980, sobre la materia, utilizando la *Web Of Science* [66] como base de datos. Para ello se ha aplicado la cadena de búsqueda siguiente, en la que se incluyen no sólo las denominaciones genéricas sino también las particulares de cada una de las tecnologías: *additive+manufac* OR 3D+print* OR 3Dprint* OR three+dimensional+print* OR 3D+plot* OR rapid+prototyp* OR rapid+manufac* OR rapid+tool* OR generative+manufac* OR eManufac* OR constructive+manufac* OR additive+layer+manufac* OR direct+manufac*OR direct+digital+manufac* OR freeform+fabric* OR solid+freeform+fabric*OR VAT+photopoly* OR stereolitho* OR stereo+lithogra* OR material+jett* OR binder+jett* OR powder+bed+fus* OR material+extrus* OR directed+energy+deposit* OR sheet+laminat* OR digital+light+process* OR film+transfer+imag* OR fused+deposition+modell* OR fused+filament+fabric* OR multijet+model* OR polyjet OR model+mak* OR thermojet OR binder+jett* OR color+jett+print* OR prometal OR liquid+metal+jett* OR plaster+based+3D+Print* OR selective+laser+sinter* OR selective+heat+sinter* OR direct+metal+laser+sinter* OR selectiv+ laser+melt* OR laser+cus* OR*

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

laser+beam+melt OR electron+beam+melt* OR direct+metal+deposit* OR
laser+metal+deposit* OR laser+cladd* OR directed+energy+deposit* OR
laser+engineered+net+shap* OR directed+light+fabricat* OR ion+fusion+format* OR
sheet+laminat* OR 3D+biop* OR laminated+object+manufact* OR
ultrasonic+consolidat* OR ultrasonic+compact* OR ultrasonic+additive+consolidat**

El número de artículos publicados se resumen en la Tabla 1 ordenados por décadas, salvo el último intervalo compuesto por 8 años. A pesar de que todavía no podemos contar con las publicaciones que se realizarán en los años 2019 y 2020, se observa la progresión exponencial de documentos científicos publicados referidos a la impresión 3D, lo que indica el interés creciente sobre la AM del mundo investigador. La progresión de publicaciones anuales se presenta de forma gráfica en la Figura 2.

Tabla 1. Número de artículos publicados en la *Web Of Science* sobre
Fabricación Aditiva por décadas.

Décadas	nº publicaciones AM
1980-89	1.696
1990-99	7.021
2000-10	18.274
2010-18	44.151

El total de publicaciones que resulta de la búsqueda realizada es de 73.961, teniendo en cuenta además de los expuestos en la Tabla 1, los 44.151 publicados en 2019 hasta el 6 de abril de 2019, fecha en la que se realiza la búsqueda. Estas publicaciones corresponden a artículos, encuentros, revisiones de artículos, libros, noticias, publicaciones de patentes, juicios clínicos, entre otros.

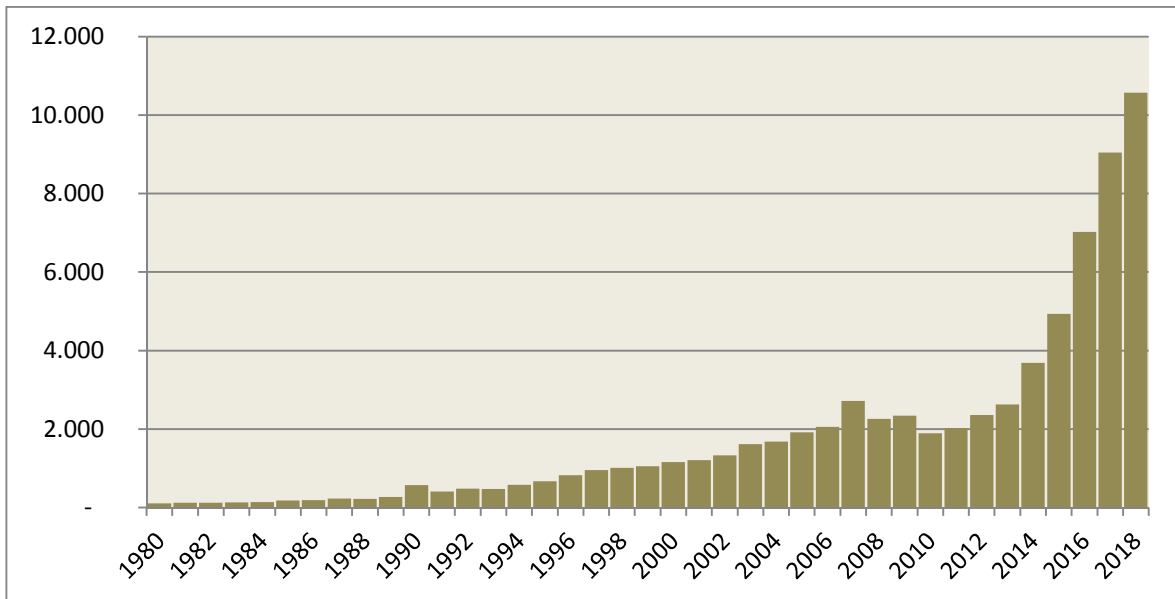


Figura 2. Número de artículos anuales publicados en la *Web Of Science* sobre Fabricación Aditiva.

Por ramas, es la ingeniería la que aporta más publicaciones, seguida de ciencia de materiales ciencias de la computación, física, instrumentación, química, otros tipos de ciencias tecnológicas, polímeros, óptica y matemáticas. Las distintas ramas que admiten publicaciones sobre Fabricación Aditiva ilustran la complejidad de las mismas y las áreas en las que pueden influir o a las que se puede aplicar.

Estados Unidos es el país que más documentación publicada aporta, seguida de China, Alemania, Reino Unido e Italia. España se encuentra en la posición decimoprimer en el ranking de publicaciones con un total de 1.679 registros.

Para finalizar, la Figura 3 muestra cómo ha crecido el número de búsquedas en las tendencias de Google o (*google trends*) [77] de la palabra clave “*additive manufacturing*” durante un período de tiempo desde 2004 hasta la actualidad.

Las tendencias de google identifican las variaciones en las búsquedas en valores relativos basados en una escala de 0 a 100, donde 100 representa el punto más alto en niveles de búsquedas realizadas respecto a un término o palabra clave.

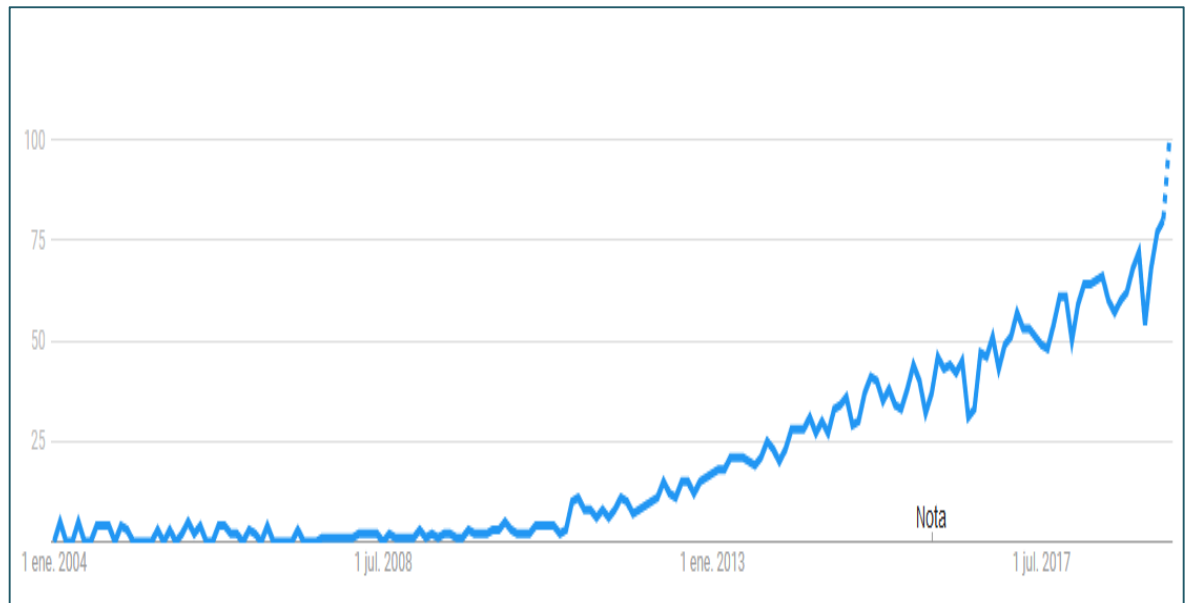


Figura 3. Evolución del número de búsquedas en Google del término “*Additive Manufacturing*”.

4.2. Consideraciones generales sobre normas

La formación de los técnicos e ingenieros es fundamental para el desarrollo de la industria. Los ingenieros deben tener una base sólida de ciertas materias para poder afrontar los retos que se presentarán a lo largo del ejercicio profesional. Muchas materias son impartidas con maestría en los años de formación, sin embargo, en escasas ocasiones se encuentran trabajos de investigación sobre normativa [78] o que la normativa forme parte explícita de los temarios universitarios. Este hecho resulta sorprendente puesto que el cumplimiento de las normas vigentes en cada momento resulta vital para poder operar en los mercados. Los ingenieros deben saber cómo encontrar una norma específica, cómo leerla e interpretarla y cómo aplicarla en la vida profesional, con sus ventajas y sus inconvenientes.

Según publica ISO en su página web [79], la normalización proporciona “requisitos, especificaciones, directrices o características que se pueden usar de manera consistente para garantizar que los materiales, productos, procesos y servicios sean adecuados para su propósito.”

Las normas suelen ser reglas bien establecidas que un grupo de usuarios acuerda seguir. Cuando las reglas establecidas entre dos grupos de usuarios son distintas, surgen barreras técnicas para que los productos fabricados por uno de los grupos se comercialicen en el área del otro, donde los estándares son diferentes y a veces

incompatibles. Si estos grupos de usuarios son numerosos, por ejemplo países o continentes, la dificultad expuesta se amplifica. Unas normas únicas facilitan notoriamente el comercio de productos, servicios o sistemas. Entre los beneficios de la normalización se puede citar: la reducción los costes de investigación y desarrollo, del tiempo de comercialización, de producción y de inspección, reducción de la responsabilidad, contracción de la terminología, protección de la seguridad, la salud y el medioambiente, suscita la calidad de producto, de proceso y de ensayo en su caso, promueve la calidad y la eficiencia en las cadenas de suministro globales y todo esto independientemente de las marcas o de las empresas en concreto. La normativa juega un papel clave para garantizar la calidad y la productividad de los procesos de fabricación [80].

Para las tecnologías en desarrollo la norma proporciona, además, una base para que los productos fabricados con esas tecnologías lleguen al mercado, asegurando la calidad del producto y proporcionando confianza al consumidor, entre otros aspectos.

Según la definición proporcionada por la Norma UNE-EN ISO/ASTM 52900 (2017)[22], la Fabricación Aditiva es el *“proceso de unión de materiales para fabricar piezas u objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa a capa, en oposición a los métodos de fabricación mediante eliminación de material y de conformado”*.

Las fases que componen un proceso general de Fabricación Aditiva [81] se resumen en los siguientes párrafos y se muestran gráficamente en la Figura 4.

Para realizar la fabricación de un objeto mediante impresión 3D se necesita de un modelo digital en 3 dimensiones (3D) de la pieza que se pretende fabricar. El modelo 3D de puede generar mediante un software de diseño (CAD) o se puede obtener utilizando técnicas de ingeniería inversa mediante el escaneado del objeto [82]. El fichero CAD se convierte entonces a un formato que defina la geometría de objetos 3D (generalmente, un formato *Standard Triangle Language o STL*). Este proceso se denomina poligonización/triangulación. Sigue un proceso de rebanado (*Slicing*) por el que el diseño realizado es dividido digitalmente en capas de un grosor específico. El archivo STL se transfiere a la máquina que producirá el objeto físicamente. En esta fase es importante definir la posición relativa del objeto respecto de la mesa de construcción, su tamaño, y la parametrización de la máquina (especificar los materiales a partir de los cuales se fabricará la pieza y establecer parámetros de fabricación como espesor de capa, velocidad de “impresión”, temperatura, etc.). La impresión se realiza capa a capa conformando el objeto y bajo el control del ordenador. Una vez terminada la impresión y construida la pieza se extrae de la mesa de impresión. Tras la finalización de la impresión pueden ser necesarios procesos de terminación (o post-

procesos) como eliminación de soportes adicionales necesarios con algunas tecnologías y piezas, pulidos, limpieza, etc. Finalmente, si es necesario, se procede a la fase de certificación en la que se comprueba que las características deseadas en el diseño del objeto han sido o no finalmente obtenidas.

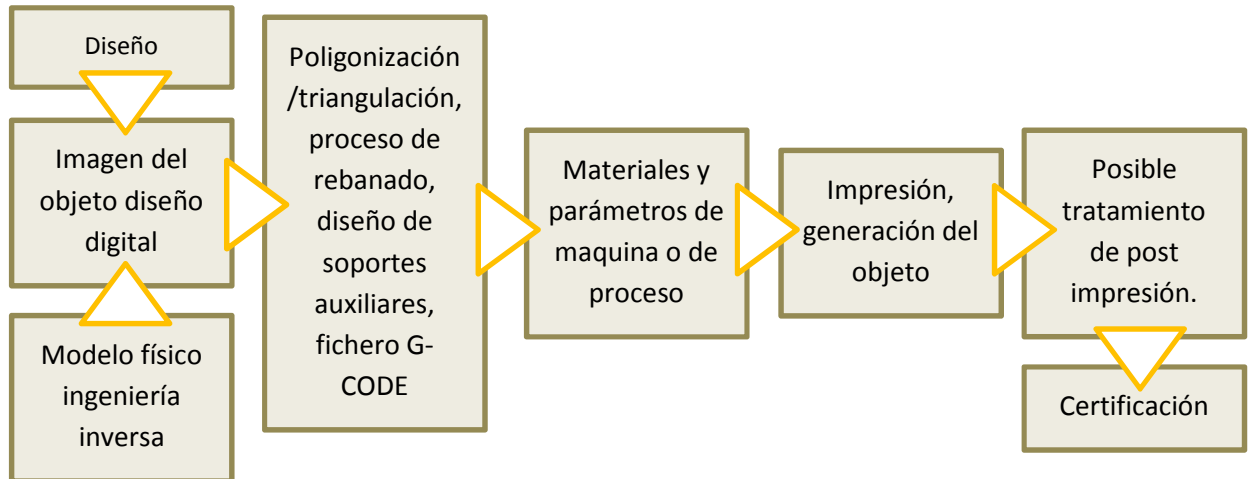


Figura 4. Fases de la Fabricación Aditiva.

Diversos autores califican a la AM como la nueva revolución industrial [83], comparable con la del siglo XVIII, porque supone cambios profundos en la industria, en la manera de fabricar, en los mercados, en la distribución de los productos, en la economía y en la sociedad del futuro.

El término Fabricación Aditiva reúne a un grupo de tecnologías nuevas en la historia de la industria [13] y como tal requiere de normalización para proporcionar directrices y especificaciones que se puedan utilizar de manera estable. Parece obvio que las tecnologías utilizadas desde tiempos remotos no requieren de normalización puesto que los procedimientos y el uso de esas tecnologías han sido ajustados y optimizados por el tiempo a prueba de errores. Sin embargo, cuando las tecnologías son nuevas y están desarrollándose, una normativa que le dé cuerpo es esencial para el despliegue ordenado de las mismas en el mercado. Por ejemplo, será muy difícil que una tecnología ancestral como la fundición esté muy reflejada en normas, pero no así las normas referentes a la AM. De la misma manera es posible ver que la normativa en torno a la química inorgánica es mucho menos cuantiosa que la relativa a la química orgánica, materia mucho más moderna que la anterior, y por tanto más estructurada, más ordenada y más artificial; en la química orgánica se puede anticipar la existencia

de un compuesto antes de que exista. Otro ejemplo que ilustra este hecho es la comparativa entre materiales metálicos y polímeros.

Para las tecnologías de impresión 3D ya existe normativa al respecto. Es decir, en este caso el periodo entre la aparición de las tecnologías y la normalización de las mismas es muy pequeño. Este hecho proporciona las ventajas de estandarización y también posibles inconvenientes dado que se están normalizando procesos que quizás no duren mucho tiempo en el mercado (no sobrevivan) y que provoquen revisiones frecuentes en la publicación de las normas, o que se regule de forma general sin profundizar para evitar este obstáculo. Por supuesto, existe la posibilidad de esperar a que las tecnologías se desarrollen y se implanten en el mercado y publicar las normas posteriormente (por ejemplo dentro de 50 años). En este caso sólo se considerarán en las mismas los procesos que sobrevivan y con certeza las normas tendrían un orden más adecuado del que presentan actualmente, pero por otro lado se tendría un periodo de 50 años sin normas.

4.2.1. Estructura de las normas ISO/ASTM sobre AM

La generación y publicación de nueva normativa se produce habitualmente cuando las tecnologías se despliegan, se prueban y se encuentran utilidades en el mercado. Esta normativa, que regula los distintos aspectos de la utilización de las tecnologías, se desarrolla en general a nivel sectorial, y en ocasiones termina normalizando el ámbito nacional, o incluso internacional si un grupo suficiente de países decide adoptarla [84].

El caso de la AM es singular porque en el 2011 fue aprobado el acuerdo de cooperación de la PSDO_ *Partner Standards Development Organization* [15], entre ISO y la ASTM en la reunión del Consejo de ISO que tuvo lugar en septiembre de 2011 en Nueva Delhi, India. Esta alianza sobre normativa relacionada con las Tecnologías de Fabricación Aditiva se ha pactado entre el Comité F42 de ASTM International y el Comité Técnico ISO 261 sobre Fabricación Aditiva.

El acuerdo entre la ASTM e ISO[16], [85], [86] se genera con la finalidad de desarrollar de manera conjunta los estándares de impresión 3D, con el objetivo de tener un solo conjunto de normas específicas reconocidas en todo el mundo. Para no perder la trazabilidad, el acuerdo comprende que cada una de las organizaciones nombrará a la otra en la referencia de aquellas normas desarrolladas conjuntamente. El objetivo del PSDO es eliminar duplicidades en el esfuerzo y proporcionar los recursos máximos a la industria de la impresión 3D. Además de trabajar conjuntamente para crear estándares nuevos en la materia de Fabricación Aditiva, sino también para adoptar de forma

rápida como norma ISO las ya publicadas por ASTM International, y por último, para el mantenimiento de todas ellas.

Las normas ISO/ASTM también se están publicando como Normas Europeas (EN). El trabajo de desarrollo de normativa en el campo de la AM está sucediendo con el amparo del Comité Europeo de Normalización (CEN) para ayudar a garantizar la coherencia de los estándares internacionales. A través de su Comité europeo CEN TC 438 sobre Fabricación Aditiva, CEN colabora de manera estrecha y continúa con el trabajo de ISO y ASTM sobre estándares de Fabricación Aditiva. El acuerdo tiene como objetivo optimizar el trabajo de los expertos y de los recursos para impulsar el desarrollo de estándares de impresión 3D mientras se reduce la duplicación de esfuerzos.

ISO y ASTM International han publicado la estructura de desarrollo de normas de Fabricación Aditiva [87] que han elaborado conjuntamente. La estructura fue aprobada por los grupos de AM de ambas organizaciones en julio de 2016 y pretende ayudar a guiar el trabajo de expertos globales y organizaciones de desarrollo de normas involucradas en la estandarización; identificar brechas y necesidades relacionadas con estándares en la industria; evitar la superposición y esfuerzos duplicados en el desarrollo de estándares; asegurar la cohesión entre los estándares; priorizar las áreas de estándares; y mejorar la usabilidad y la aceptación entre la comunidad de AM, incluidos fabricantes, empresarios, consumidores y otros.

La estructura común de normalización acordada por ISO y ASTM se basa en tres niveles, que mantienen una relación *padre-hijo* entre ellos, es decir, las características de las *normas padre* se transfieren a las *normas hijo*, de modo que se facilita el desarrollo de las normas y se evita tanto la duplicidad como las posibles contradicciones. En la Figura 5 se muestra el esquema de la estructura de las normas. Los niveles de la jerarquía son: normas generales: conceptos generales y requisitos comunes; normas de categoría: aplicables a categorías de procesos o de materiales específicos; normas especializadas: sobre material, proceso o aplicación determinada.

4.2.1. Estado actual de los trabajos sobre normas ISO de Fabricación Aditiva

Las normas publicadas por ISO sobre AM se resumen en la Tabla 2, todas ellas bajo la responsabilidad del ISO/TC 261.

En la información que ISO ofrece en su página web [68] también se pueden consultar tanto las normas de Fabricación Aditiva en proceso de desarrollo como las retiradas.

Como se puede deducir, las normas publicadas por ISO sobre AM pertenecen al nivel superior de clasificación de la Figura 5, Normas generales (conceptos generales y requisitos comunes). Solamente con este concepto y ante la visión de la estructura de las normas ISO/ASTM, se aprecia la cantidad inmensa de normativa que está todavía por desarrollar, no sólo la normativa que falta del nivel superior sino el desarrollo de las correspondientes a los otros dos niveles.

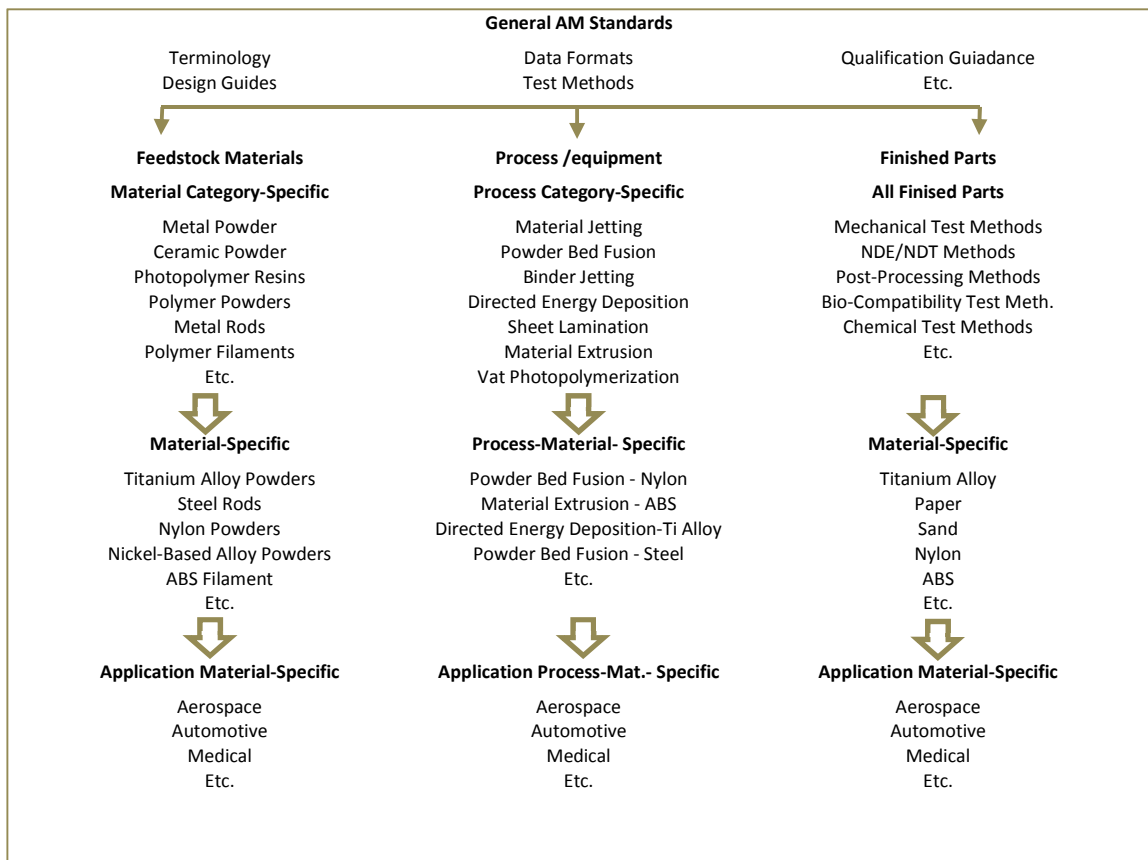


Figura 5. Estructura de las normas ISO/ASTM sobre AM [87]

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 2. Normas publicadas por ISO sobre Fabricación Aditiva.

Identificación	Nombre	Estado	ICS ¹
ISO 17296-2:2015	Additive manufacturing -- General principles -- Part 2: Overview of process categories and feedstock	International Standard published	25.030
ISO 17296-3:2014	Additive manufacturing -- General principles -- Part 3: Main characteristics and corresponding test methods	International Standard published	25.030
ISO 17296-4: 2014	Additive manufacturing -- General principles -- Part 4: Overview of data processing	International Standard published	25.030
ISO/ASTM 52900: 2015	Additive manufacturing -- General principles -- Terminology	International Standard to be revised	01.040.25 25.030
ISO/ASTM 52901: 2017	Additive manufacturing -- General principles -- Requirements for purchased AM parts	International Standard published	25.030
ISO/ASTM 52910:2018	Additive manufacturing -- Design -- Requirements, guidelines and recommendations	International Standard published	25.030
ISO/ASTM 52915: 2016	Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2	International Standard to be revised	35.240.50 25.030
ISO/ASTM 52921: 2013	Standard terminology for additive manufacturing -- Coordinate systems and test methodologies	International Standard published	25.030

Revisión abril 2019

4.2.2. Normas publicadas por AENOR sobre Fabricación Aditiva

La Asociación Española de Normalización (UNE) ha traspuesto las normas ISO sobre AM, a través del Comité Técnico Español de Normalización encargado de la elaboración de las normas de impresión 3D, el CTN 116 (sistemas industriales automatizados). Los títulos de las normas vigentes [22] ordenadas según la fecha de publicación se presentan en la Tabla 3 y se incluye la denominación de cada una de las predecesoras europeas, en caso de que exista, para mejor trazabilidad.

Como se puede observar hay una diferencia de fechas de publicación de entre uno y cuatro años entre la versión europea (ISO) y la aparición de la norma española, periodo que puede parecer excesivo si se observa que en general estas últimas son trasposiciones desde las normas ISO.

Hay una norma publicada en el 2012 que no tiene equivalencia ISO, es decir que es una norma nacional sin equivalente europea, pero que se ha incluido en la clasificación porque trata sobre los métodos de preparación de probetas y los ensayos a utilizar para determinar las propiedades de los materiales en la fabricación por adición de capas.

En la Tabla 3 aparecen otras tres normas que incluyen en su código el nombre ASTM, porque son consecuencia del acuerdo de colaboración ISO-ASTM de 2013, que tiene como resultado la adopción como borrador final ISO de un estándar publicado por

¹ ICS: International Classification for Standards

ASTM International, mediante procedimiento rápido (*fast track*). Son por tanto normas de aplicación tanto en Europa como en Estados Unidos. Estas normas han sido las últimas en publicarse y versan sobre la terminología de los sistemas de coordenadas y métodos de ensayo, sobre el formato que utilizan los archivos digitales de definición del objeto a fabricar (formato AMF) y sobre los principios generales y su terminología, ya unificada para ambos territorios.

Tabla 3. Normas UNE sobre Fabricación Aditiva.

Norma	Identificación	Nombre	Fecha
UNE 116005:2012		Fabricación por adición de capas en materiales plásticos. Fabricación aditiva. Preparación de probetas	18/04/2012
UNE-EN ISO/ASTM 52921:2017	ISO/ASTM 52921:2013	Terminología normalizada para la Fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.	31/05/2017
UNE-EN ISO 17296-2:2017	ISO 17296-2:2015	Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas.	31/05/2017
UNE-EN ISO 17296-3:2017	ISO 17296-3:2014	Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes.	31/05/2017
UNE-EN ISO 17296-4:2017	ISO 17296-4:2014	Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 4: Visión general del intercambio de datos.	31/05/2017
UNE-EN ISO/ASTM 52915:2017	ISO/ASTM 52915:2016	Especificación para el formato de archivo para la fabricación aditiva (AMF) Versión 1.2.	26/07/2017
UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017	ISO/ASTM 52900:2015	Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.	08/11/2017

Revisión abril 2019

Por último, el listado contiene tres normas sobre principios generales, desplegados en sendos documentos que versan sobre las categorías de los procesos y las materias primas, sobre los métodos de ensayo y sobre el intercambio de datos, respectivamente. Estas normas son posteriores al mencionado acuerdo ISO-ASTM, de forma que aunque en su código no incluyen el nombre ASTM, se deduce que son el resultado de la colaboración de ambas organizaciones, y por tanto vigentes tanto en Europa como en Estados Unidos. La diferencia con las anteriores es que las primeras han sido traspuestas desde normas ASTM existentes y estas últimas han sido desarrolladas por ambos organismos de manera conjunta.

El detalle de lo que desarrollan las citadas normas se puede consultar en la Tabla 4 en la que se aprecia que todas las normas publicadas por ISO después del 2013 mantienen una primera parte con estructura prácticamente común: Portada, Portadilla CEN, Índice, Prólogo europeo, Declaración, Prólogo, Introducción, Objeto y campo de aplicación, Normas de consulta, y Términos y definiciones. A partir de la sección de

Términos y definiciones, cada una de ellas desarrolla su cuerpo normativo con las secciones específicas que son necesarias. Es interesante ver que después de este desarrollo específico, no todas las normas tienen secciones de Anexos (sólo 3 de ellas) ni de Bibliografía (también 3 de ellas).

Hay una excepción con la primera de las normas publicadas (UNE 116005:2012) con estructura diferente a las demás, lo que se justifica porque ha sido la primera en publicarse de las normas estudiadas y porque tiene exclusivamente aplicación española, es decir, es una norma UNE pero no ISO.

En resumen, nos encontramos en un periodo de difusión y desarrollo de las tecnologías de AM en el que ISO ha decidido publicar un conjunto de normas relativas a la Fabricación Aditiva, que abordan temas generales.

Las normas hasta ahora publicadas tratan sobre la preparación de probetas, los sistemas de coordenadas, la terminología específica de AM, los métodos de ensayo, la visión general del intercambio de datos y en particular del formato AMF, y la visión general de categorías de procesos de AM. Pero no hay normalización sobre cada una de las tecnologías que son posibles en la impresión 3D, los procesos específicos, los parámetros de fabricación, la materia prima adecuada para cada uno de ellos, las propiedades mecánicas, químicas o físicas, la repetitividad y la reproducibilidad, los criterios de rendimiento, la metrología, la seguridad, la certificación, el aseguramiento de la calidad, u otros parámetros importantes.

La velocidad a la que se está desarrollando la tecnología AM y la normativa necesaria en este campo, que es tan abundante como el rango de tecnologías que abarca [88], hace prácticamente imposible que los organismos normalizadores puedan seguir el ritmo. A pesar de ello, las últimas publicaciones y la colaboración internacional ASTM-ISO de los últimos años facilitan que la normativa no sea un freno para que las tecnologías de Fabricación Aditiva lleguen al mercado sino que se convierte en un apoyo, supone que los organismos normalizadores han decidido trabajar en esta área de la impresión 3D en pleno proceso de desarrollo y evolución.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 4. Clasificación de estructura de la normativa UNE-EN ISO publicada sobre Fabricación Aditiva.

UNE 116005:2012	UNE-EN ISO/ASTM 52921: 2017	UNE-EN ISO 17296-2: 2017	UNE-EN ISO 17296-3: 2017	UNE-EN ISO 17296-4: 2017	UNE-EN ISO/ASTM 52915: 2017	UNE-EN ISO/ASTM 52900: 2017
	Portadilla CEN	Portadilla CEN	Portadilla CEN	Portadilla CEN	Portadilla CEN	Portadilla CEN
	Índice	Índice	Índice	Índice	Índice	Índice
	Prólogo europeo	Prólogo europeo	Prólogo europeo	Prólogo europeo	Prólogo europeo	Prólogo europeo
	Declaración	Declaración	Declaración	Declaración	Declaración	Declaración
	Prólogo	Prólogo	Prólogo	Prólogo	Prólogo	Prólogo
Introducción		Introducción	Introducción	Introducción	Introducción	Introducción
Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación	Objeto y campo de aplicación
Normas para consulta	Normas de consulta	Normas de consulta	Normas de consulta	Normas de consulta	Normas de consulta	Normas de consulta
Definiciones	Terminología	Términos y definiciones	Términos y definiciones	Términos y definiciones	Términos y definiciones	Términos y definiciones
Probetas						
Acondicionamiento						
Informe referente a la preparación de probetas	Palabras clave	Cadenas de proceso Categorías de procesos	Principales características y métodos de ensayo correspondientes Ensayos a las piezas y procesos. Especificaciones y criterios de calidad	Intercambio de datos	Consideraciones clave Estructura de esta especificación Estructura general Especificación de geometría Especificación de material Especificación de color Especificación de textura Constelaciones Metadatos Comprensión y distribución	
	Anexos		Bibliografía	Bibliografía	Anexos	Anexos
					Bibliografía	Bibliografía

4.2.1. Análisis de contenidos de normas de Fabricación Aditiva

Se ha realizado una valoración de las normas estudiadas en este documento. Se han definidos 5 parámetros cualitativos (Terminología, Nivel de detalle, Nivel descriptivo versus tecnológico, Tablas, Figuras, y Utilización de ejemplos), y tres cuantitativos (Número de normas de consulta, Número de referencias bibliográficas y Número de anexos). La valoración se resume en la Tabla 5, tomando 4 como valor máximo, 1 como mínimo y 0 cuando no aplica.

Cabe destacar la utilización de figuras tridimensionales muy aclaratorias en las dos primeras normas de la lista y el uso de ejemplos, muy útiles para el lector y para la enseñanza, en las normas ISO/ASTM 52921 e ISO/ASTM 52915, ambas con origen americano. Por otro lado se aprecia que en general a mayor número de normas de consulta, menos bibliografía se ofrece.

Las 74 referencias bibliográficas de la norma UNE-EN ISO 17296-3 son prácticamente todas referencias a otras normas ISO mencionadas en las tablas de características de calidad y las correspondientes normas de ensayo.

Tabla 5. Valoración de contenidos de las normas.

	Terminología	Nivel de detalle	Nivel descriptivo vs tecnológico	Tablas	Figuras	Uso de Ejemplos	Nº Normas para consulta	Nº Bibliografía	Nº Anexos
UNE 116005:2012	3	4	3	4	4	3	6	0	0
UNE-EN ISO/ASTM 52921: 2017	4	4	4	3	4	4	6	0	1
UNE-EN ISO 17296-2: 2017	3	2	2	0	2	0	1	0	0
UNE-EN ISO 17296-3: 2017	2	3	1	4	0	0	2	74	0
UNE-EN ISO 17296-4: 2017	3	2	2	1	1	0	4	3	0
UNE-EN ISO/ASTM 52915: 2017	4	4	2	4	2	4	0	5	2
UNE-EN ISO/ASTM 52900: 2017	4	3	3	0	3	0	0	6	2

Las normas UNE-EN ISO 17296 -2, UNE-EN ISO 17296-3, y UNE-EN ISO 17296-4 citan como referencia de terminología a la norma UNE-EN ISO 17296-1 (Terminología), indicando que está pendiente su publicación. Como respuesta a una consulta específica para conocer las fechas de la publicación de esta parte de la norma realizada por correo electrónico a AENOR, este organismo comunica que el proyecto para esta

publicación se ha desestimado y que es probable que el Comité renombre en el futuro la serie de normas ISO 17296 partes 2 a la 4, haciendo mención a la UNE-EN ISO/ASTM 52900 (Fabricación aditiva-Principios generales-Terminología) como referencia de terminología. La terminología ofrece una posibilidad de unificación de términos y conceptos que debe ser trasladada y utilizada en todos los ámbitos posibles, incluidos los formativos, evitando errores de denominación.

Con esta valoración, se puede apreciar que la norma más completa con los parámetros elegidos es la UNE-EN ISO/ASTM 52921: 2017. El anexo de información obligatoria es francamente aclaratorio, las figuras tridimensionales muy completas y tanto los ejemplos como las tablas son precisos y explicativos.

Una vez analizados los contenidos de las normas publicadas sobre AM, parece interesante considerar si la información que ofrecen es suficiente para incluirlas como parte de la formación de técnicos e ingenieros. Es decir, si el nivel de información que ofrecen las normas es equiparable al de los temarios universitarios de otras tecnologías o procesos de fabricación más antiguos y consolidados. Si se toma como referencia de nuevo el libro de procesos de fabricación de Kalpakjian y Schmid [89] y una tecnología consolidada, por ejemplo la extrusión, comprobamos que la materia docente comprende los siguientes apartados: Introducción, el proceso de la extrusión, extrusión en caliente, extrusión en frío, defectos de la extrusión, equipos para la extrusión, el proceso de estirado (trefilado) prácticas de estirado, defectos de estirado y esfuerzos residuales y equipo para estirado. El nivel de detalle de maquinaria, de gráficos, de materiales y de pruebas a las que se refiere el tema es amplio y está documentado. Como se aprecia, la información docente de estos procesos es mucho más completa que la que ofrece el conjunto de normas publicadas sobre AM. Es interesante notar que alguna de las tecnologías que ahora se unifican bajo el paraguas de AM ya se mencionan entre los procesos conocidos que forman parte del temario formativo, pero utilizados con otros parámetros y con otra finalidad.

Por otro lado, interesa conocer si en las escuelas técnicas se está ofreciendo formación relacionada con la normativa. Para ello se ha comprobado el programa de “Ingeniería de Fabricación” o similares de las universidades españolas que imparten el Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica. En todas ellas hay un extenso temario sobre procesos de fabricación consolidados, pero sólo se han encontrado tres universidades en los que haya un tema referido específicamente a la normativa. La Universidad de Huelva en su tema 17, “Norma UNE” de la asignatura Tecnología Mecánica I, la Universidad de La Laguna ofrece en su programa de la asignatura Tecnología de Procesos de Fabricación el tema 10, “Metrología y Normalización. (...) Fundamentos

de la Normalización. Sistema ISO, Normativa actual.” (Temario de Grado 2018). Finalmente la Universidad de Educación a Distancia (UNED) propone “Conocer la reglamentación y normativa relativa a los procesos y sistemas de fabricación.”, tema incluido en la asignatura de Tecnologías de Fabricación (temario de Grado del año 2017-18), aunque en la publicación del curso 2018-19, este nivel de detalle ha sido suprimido.

Este último caso es muy ilustrativo. Dado que cada Universidad hace públicos los planes de estudio de las asignaturas con distinto grado de detalle, tal y como se muestra en la recopilación de los planes publicados para la Asignatura de Ingeniería de Fabricación que se recopila en el ANEXO 3, se puede buscar el tema relacionado con la normativa en aquellos en los que el detalle es suficiente, pero no se tiene evidencia de la formación en normalización en los casos en los que no existe información suficiente.

4.3. Análisis clasificatorio de los procesos de Fabricación Aditiva

En las normas UNE-EN ISO/ASTM 52900 y UNE-EN ISO17296-2:2017 se definen y clasifican siete categorías de procesos de AM. En esta última norma, además de la definición se encuentran diagramas esquemáticos y ordenación según materia prima, mecanismo de unión, fuente de activación y procesado secundario, información que se resume en la Tabla 10. Esta codificación corresponde al nivel 1 de jerarquía de la clasificación ISO (Figura 5), por lo que no se especifica ningún dato en el nivel de proceso, de equipo, de materiales, de aplicación o de marca comercial de referencia. Sin embargo la aproximación natural de los técnicos a las tecnologías de AM no suele ocurrir a través de la normativa sino que sucede mediante la inmersión en la práctica o a través de libros de texto universitarios, de modo que las primeras referencias suelen ser por contacto directo con tecnologías concretas. Como información adicional a la publicada por las normas, y de forma sencilla y sintética, se incluyen la Tabla 11 y la Tabla 12, que muestran un resumen de equivalencia de las principales tecnologías comerciales y sus acrónimos con la correspondiente clasificación de categorías de procesos según la norma. Las tablas incluyen además la denominación en inglés, el estado de los materiales que se utilizan para la fabricación (sólido, líquido o gaseoso), si esa aportación de material para la manufactura se realiza en un punto, una línea o un plano, y si la tecnología requiere de lecho, especificando el tipo de lecho necesario.

Por otro lado, uno de los libros emblemáticos de fabricación es “*Manufactura, ingeniería y tecnología*” de Kalpakjian y Schmid [89]. Se comprueba que los procesos

de fabricación detallados en el libro y resumidos en la Tabla 6, no incluyen la categoría de Fabricación Aditiva ni sus procesos de manufactura.

La comparación de la clasificación de categorías de procesos AM que hace la norma UNE-EN ISO 17296-2 (2017) con la clasificación que desarrollan los autores Kalpakjian y Schmid [89] se recapitula en la Tabla 8.

Sin embargo, en el capítulo 20.1 del libro [89] se muestra una clasificación de características de las tecnologías de producción aditiva (denominadas todavía en el libro como “de prototipos rápidos”) que podría ser la precursora de la clasificación de la norma UNE-EN ISO 17296-2.

Tabla 6. Procesos de fabricación según Kalpakjian y Schmid.

Categorías de Proceso	Procesos
Fundición	Molde desechable, molde permanente
Formado y moldeado	Laminado, forjado, extrusión, estirado o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos, moldeo
Maquinado	Torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado y rectificad, maquinado ultrasónico, maquinado químico, eléctrico y electroquímico, maquinado por rayo de alta energía
Unión	Soldado, soldadura blanda, soldadura fuerte, unión por difusión, unión por adhesivos, unión mecánica
Acabado	Asentado, lapidado, pulido, satinado, rebarbado, tratamiento superficial, recubrimiento, chapeado
Nanofabricación	Técnicas de ataque, haces de electrones y rayos láser

La comparación de la clasificación de categorías de procesos AM que hace la norma UNE-EN ISO 17296-2 (2017) con la clasificación que se desarrollan los autores Kalpakjian y Schmid [89] de la Tabla 7 se recapitula en la Tabla 8.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 7. Características de las tecnologías de producción aditiva según Kalpakjian y Schmid (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Características de las Tecnologías de producción aditiva de prototipos rápidos				
Fase de suministro	Proceso	Técnica de creación de capas	Tipo de cambio de fase	Materiales
Líquida	Estereolitografía	Curado líquido de capas	Fotopolimerización	Fotopolímeros (como acrílicos, epóxicas, resinas de color y resinas rellenas)
Líquida	Moldeo por deposición fundida	Extrusión de polímero fundido	Solidificación por enfriamiento	Polímeros (como ABS y poliacrilato), cera, polvos metálicos y cerámicos con aglutinante
Polvo	Manufactura mediante partículas balísticas	Deposición de gotas	Solidificación por enfriamiento	Polímeros y ceras
Polvo	Impresión tridimensional	Capa de polvo y deposición de gotas de aglutinante	Sin cambio de fase	Cerámicos, polímeros, polvos metálicos y arena
Polvo	Sinterización láser selectiva	Capa de polvo	Sinterización activada por láser y solidificación	Polímeros, metales con aglutinante, metales, cerámicos y arena con aglutinante
Sólida	Manufactura de objetos laminados	Deposición de material laminado	Sin cambio de fase	Papel y polímeros

La ordenación de la norma es más extensa y añade una categoría más (deposición de energía focalizada) que el libro de referencia. Además la clasificación de la norma es más generalizada, define categorías de procesos dejando entender que cada una de esas categorías reúne a varias tecnologías. El libro directamente clasifica las tecnologías que en su momento se encontraban en el mercado, por ejemplo, la sinterización laser selectiva de Kalpakjian [89] es una de las tecnologías en la norma incluidas en la categoría de proceso fusión de lecho de polvo. A pesar de estas

diferencias, podemos decir que la clasificación de Kalpakjian y Schmid era muy acertada para ser del 2008. De hecho, el libro menciona tecnologías que todavía no han sido publicadas en las normas.

En la UNE-EN ISO 17296-2 apartado 6.1, se avanza que las normas posteriores proporcionarán información detallada y requisitos para combinaciones específicas materia prima-proceso, como información sobre propiedades de materia prima, requisitos (pre-acondicionamiento), descripción informativa del proceso, propiedades relevantes de las piezas, métodos de cuantificación requeridos e información sobre aplicaciones habituales, pero ya en 2008 Kalpakjian [89] publicaba una tabla aclaratoria detallando incluso las propiedades mecánicas de las materias primas de la AM (Tabla 9).

Tabla 8. Comparación de categorías de procesos de fabricación.

Categorías de Proceso UNE-EN ISO 17296-2	Kalpakjian y Schmid (Kalpakjian & Schmid, 2008)
VAT Photopolymerisation: Fotopolimerización en tanque o cuba	Estereolitografía
Material Jetting: Proyección de material;	Impresión tridimensional
Binder Jetting: Proyección de aglutinante	Manufactura de partículas balísticas
Powder Bed Fusion: Fusión de lecho de polvo	Sinterización láser selectiva
Material Extrusion: Extrusión de material	Modelado por deposición de material fundido
Directed Energy Deposition: Deposición de energía focalizada	--
Sheet Lamination: Laminación de hojas.	Manufactura de objetos laminados

Tabla 9. Clasificación de propiedades mecánicas de las materias primas de AM (Kalpakjian y Schmid) (Kalpakjian & Schmid, 2008).

Propiedades mecánicas de materiales seleccionados para producción de prototipos rápidos				
Proceso	Material	Resistencia a la tensión (MPa)	Módulo elástico (GPa)	Elongación 50mm (%)
Estereolitografía	SL 5180a	55-65	2.4-2.6	6-11
	SL 5195a	46.5	2.1	11
	SL 5510b	73	2.8	7.9
	SL 7940b	37-39	1.3	18.21
Modelado por deposición de material fundido	Polycarbonato	62	-	100
Sinterización láser selectiva	ABS	35	2.5	50
	Nailon	36	1.4	32
	Polycarbonato	23.4	1.2	5
	Poliamida	44	1.6	9
	SOMOS 201	17.3	14137	130
	ST-100c	305		10
Impresión tridimensional	Acero	406	148	8.00
	inoxidable S3	682	147	8.00
	Acero inoxidable S4			

^a Después de un curado UV de 90 minutos; ^b después de un curado UV de 90 minutos a 80°C; ^c polvo de acero sinterizado con infiltraciones de bronce.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 10. Categorías de proceso según UNE-EN ISO 17296-2:2017.

Nombre (Español/Inglés)	Figura	Materia prima	Mecanismo de unión	Fuente de activación	Procesado secundario
Fotopolimerización en tanque o cuba VAT <i>Photopolymerisation</i>		Líquido o pasta: resina fotorreactiva con o sin relleno	Reacción química	Habitualmente radiación UV proveniente de láseres o lámparas	Limpieza, eliminación del material soporte, post-curado mediante una mayor exposición UV
Proyección de material <i>Material Jetting</i>		Fotopolímero líquido o cera fundida, con o sin relleno	Reacción química o adhesión por solidificación de material fundido	Fuente de radiación luminosa para unión mediante reacción química	Limpieza, eliminación del material soporte, post-curado mediante una mayor exposición a la radiación luminosa
Proyección de aglutinante <i>Binder Jetting</i>		Polvos, mezcla de polvos o materiales en forma de partículas, y un agente líquido adhesivo/aglutinante	Reacción química y/o térmica	Reacción química (dependiendo del agente aglutinante)	Eliminación de polvo suelto, impregnación o infiltración de material líquido
Fusión de lecho de polvo <i>Powder Bed Fusion</i>		Diversos polvos: polímeros termoplásticos, metales puros o aleaciones, cerámicas estructurales o industriales	Reacción química	Energía térmica (láser, haz de electrones y/o lámparas de infrarrojos)	Eliminación de polvo suelto, de material soporte si procede, operaciones para mejorar el acabado superficial
Extrusión de material <i>Material Extrusion</i>		Filamento o pasta, generalmente termoplástico y cerámicas estructurales	Reacción química o térmica	Calor, ultrasonidos o reacción química	Eliminación de estructura soporte
Deposición de energía focalizada <i>Directed Energy Deposition</i>		Polvo o filamento, generalmente metálico. Partículas cerámicas añadidas en algunas aplicaciones	Reacción química: fusión y solidificación	Láser, luz de electrones o arco de plasma	Mejora de acabado superficial y de propiedades del material
Laminado de hojas <i>Sheet Lamination</i>		Material en láminas (papel, metal, polímeros, etc)	Reacción térmica o química, ultrasonidos	Calentamiento localizado a gran escala, reacc. Química y transductores ultrasónicos	Eliminación de residuos. Opcional: procesos de mejora de acabado superficial

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 11. Clasificaciones de tecnologías comerciales según las siete categorías de procesos de UNE-EN ISO 17296-2:2017. Parte 1.

CATEGORIA DE PROCESOS clasificación según (UNE EN-ISO 17296-2:2017)	DENOMINACIÓN	ACRÓNIMO	DENOMINACIÓN EN INGLES	ESTADO de los materiales que se aportan	Aporte de MATERIAL en punto/línea /plano	LECHO	Propietario de la tecnología
Fotopolimerización en tanque o cuba	Estereolitografía	SLA	Stereolithography	Líquido	Punto	Lecho liquido	3D Systems
Fotopolimerización en tanque o cuba	Fotopolimerización con proyector	DLP, FTI	Digital Light Processing Film Transfer Imaging	Líquido	Plano	Lecho liquido	
Fotopolimerización en tanque o cuba	Fotopolimerización por absorción de fotones			Gel	Punto	Lecho gel	
Extrusión de material	Modelado Deposición Fundida Fabricación Filamento Fundido	FDM FFF	Fused Deposition Modelling Fused Filament Fabrication	Material fundido (Hilo en bobinas)	Punto	Sin lecho	Stratasys
Proyección de material	Modelado de Inyección Múltiple Polyjet Model Maker	MJM POLYJET MM	MULTIJET Modeling_MJM POLYJET Model Maker_MM	Líquido	Línea (varios cabezales)	Sin lecho, se inyecta la resina fotosensible	MJM_3D Systems; POLYJET_Stratasys Model Maker_Solidscap
Proyección de material	Thermojet	Thermojet	Thermojet	material fundido	Línea (varios cabezales)	Sin lecho, se inyecta el material ceraceo fotosensible	
Proyección de aglutinante	Inyección de Aglutinante Impresión 3D Proyección de aglutinante Prometal Proyección de Metal líquido (no se comercializa) Plaster-based 3D Printing_PP	Binder Jetting 3DP CJP PROMETAL LMJ PP	Binder Jetting 3D(dimensional) Printing_3DP Color Jet Printing_CJP Prometal Liquid Metal Jetting_LMJ Plaster-based 3D Printing_PP	Polvo (lecho)/ líquido (aglutinante)	Línea	Lecho polvo	Developed at MIT http://web.mit.edu/tdp/www/whatis3dp.html Commercialized by Z Corporation in 1995 (now 3D Systems))

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 12. Clasificaciones de tecnologías comerciales según las siete categorías de procesos de UNE-EN ISO 17296-2:2017. Parte 2.

CATEGORÍA DE PROCESOS clasificación según (UNE EN-ISO 17296-2:2017)	DENOMINACIÓN	ACRÓNIMO	DENOMINACIÓN EN INGLÉS	ESTADO de los materiales que se aportan	Aporte de MATERIAL en punto/línea/plano	LECHO	Propietario de la tecnología
Fusión de lecho de polvo	Sinterizado Láser Selectivo	SLS (o LS)	Selective Laser Sintering	Polvo	Punto	Lecho polvo	3D Systems
Fusión de lecho de polvo	Sinterizado Térmico Selectivo	SHS	Selective Heat Sintering	Polvo	Punto	Lecho polvo	Blueprinter ((Co. Danesa) 2011
Fusión de lecho de polvo	Sinterizado Directo de Metal por Láser	DMLS	Direct Metal Laser Sintering (es el SLM de marca patentada por Eos)	Polvo	Punto	Lecho polvo	Eos GMBH (Electro optical Systems)
Fusión de lecho de polvo	Fusión Selectiva con Laser	SLM LBM	Selective Laser Melting // Laser Cusing Laser Beam Melting	Polvo	Punto	Lecho polvo	
Fusión de lecho de polvo	Fusión por haz de electrones	EBM	Electron Beam Melting	Polvo	Punto	Lecho polvo	ARCAM
Deposición de energía localizada	Deposición directa de Metal_DMD Recubrimiento de Metal o Revestimiento 3D_LMD Revestimiento Láser Deposición de Energía Directa_DED Conformado con diseño laser _LENS Fabricación directa con luz (IFF – formación fusión iones)	DMD LMD Laser Cladding DED LENS IFF	Direct Metal Deposition_DMD Laser Metal Deposition_LMD LASER CLADDING Directed Energy Deposition Laser Engineered Net Shaping Directed light fabrication (IFF – Ion Fusion Formation)	Polvo	Punto	Sin lecho, se inyecta polvo metálico	POM Group Inc.
Laminado de hojas	Fabricación por Laminación	LOM	Sheet Lamination Laminated Object Manufacturing_LOM	Sólido (láminas)	Plano	Sin lecho	Helisys (Cubitechnologies)
Laminado de hojas	Consolidación por Ultrasonido	UC UAM	Ultrasonic Consolidation (o Compaction) Ultrasonic Additive Consolidation	Sólido (láminas)	Plano	Sin lecho	Creada en 1999 por la empresa norteamericana Solidica

4.4. Implicaciones en educación y diseño de programas formativos

La perspectiva de utilización de tecnologías de la información y comunicación (TIC) y de la automatización de manera masiva (entre las que se pueden encuadrar, entre otras, la Fabricación Aditiva, el uso de software inteligente, de la robótica, de los drones, de la Inteligencia Artificial (IA), la gestión de datos masivos -*Big Data*-), auguran una necesidad de especialistas que lleven a cabo la investigación necesaria para superar los retos actuales y de técnicos que conduzcan estas tecnologías hasta el punto de maduración adecuado para poder ser utilizarlas en el mercado y en particular en la industria manufacturera.

Para disponer de capital humano con habilidades en estos campos de automatización es necesario un plan de formación general, desde la educación básica (primaria) hasta los grados universitarios, particularmente en ingenierías [90], [91].

Varios estudios sobre el estado de desarrollo y/o implementación de la AM se han publicado para distintos países, analizando diversos aspectos, lo que indica la importancia de estas tecnologías: Minesota (USA)[92]; Finlandia [93], [94]; Suráfrica [95], [96]; USA [92]; Alemania [97]; Méjico [98]; India [99]; UK [100]; China y USA [101]; India [99] .

¿Cómo será la universidad del futuro [102]? La educación debe aportar conocimientos y capacidades para que los profesionales se puedan desenvolver en el mercado del futuro, en el marco de la Cuarta Revolución Industrial. Los futuros técnicos requerirán de competencias cognitivas para enfrentarse a un entorno tecnológico cambiante (matemáticas, lógica, procesamiento de la información, gestión de proyectos). Además también se necesitarán habilidades no cognitivas [103], [104] (pensamiento crítico, trabajo en equipo, consecución de objetivos, habilidad en las relaciones interpersonales o capacidad de resolución de problemas [105]). Teniendo en cuenta que los trabajos con requerimientos de habilidades no cognitivas serán los últimos en ser susceptibles de automatización y, por tanto, serán los más valorados. Las habilidades mencionadas deberían ser transmitidas a través de la educación, aunque algunas de ellas son difíciles de medir y evaluar mediante pruebas convencionales [106].

Las tecnologías de AM requieren la utilización de distintas disciplinas académicas como ciencia de materiales, diseño de máquinas, mecánica de fluidos, transferencia de calor, computación, estadística, diseño gráfico, etc. Estas disciplinas pueden ser tratadas a

medida que la fabricación práctica se desarrolla, ayudando a su aprendizaje o profundizando en el conocimiento en función de la formación previa de los estudiantes [40].

Las distintas experiencias evidencian que la utilización de la impresión 3D en los procesos educativos acelera el proceso de formación y lo hace más interesante, acercando la enseñanza al mundo real y aumentando las posibilidades de éxito de la formación y el compromiso de los alumnos [107]. Algunas experiencias de uso de tecnologías AM en la formación a diferentes niveles educativos y en distintos países, proporcionan una visión de la utilidad de las mismas y de los conocimientos y las capacidades que se desarrollan a través de estas prácticas. Varias son las actuaciones y experiencias recogidas en la literatura que documentan las ventajas de introducir la AM en la formación, tanto para escuelas [39], [108]-[111], como para universidades [41], [42], [44], [112], para profesores [43], planes nacionales [100], [113] e incluso en bibliotecas [114]. Estas experiencias muestran que además de las disciplinas mencionadas propias de la fabricación, los participantes también adquieren otras competencias y capacidades no técnicas como el trabajo en equipo y colaborativo, creatividad, flexibilidad ante los cambios, capacidad de comunicación, manejo de información cambiante, concentración, planificación, perseverancia o autocontrol [115]. La utilización de estas destrezas es ya importante en el mundo laboral, pero sin duda tendrán todavía mayor relevancia en el futuro.

Aunque hay evidencias de que la formación a través de la AM es muy útil, todavía no existen libros de texto específicos ni metodología concreta para implementar este tipo de formación [8] de modo que las experiencias documentadas han sido desarrolladas por profesores o investigadores con su propia metodología [43], [116]. A pesar de ello, las conclusiones de las prácticas que han sido documentadas tienen un resultado positivo.

4.5. Implicaciones y consecuencias en el empleo

La irrupción de la tecnología en la sociedad, el comportamiento nuevo del consumidor y el nacimiento de nuevos modelos de negocio conforman los pilares de lo que se denomina Cuarta Revolución Industrial [9], [117], [118].

La Cuarta Revolución Industrial, también conocida como industria 4.0, o industria inteligente, consiste en la introducción de las tecnologías digitales en las fábricas y tiene como objetivo transformar a la empresa en una organización más eficiente para

conseguir mejores resultados de negocio mediante la utilización de los datos e informaciones obtenidas con la aplicación de las tecnologías digitales.

La transformación tecnológica tendrá efectos sobre el empleo y el estado del bienestar, de manera no homogénea en distintas industrias, ocupaciones y países [119]-[125]. Numerosos autores defienden la correlación directa entre aumento de automatización y nivel de desempleo basándose en la idea de que los robots serán capaces de realizar cada vez más las tareas actualmente asignadas a los humanos [124], porque serán más diestros, más eficientes y no descansarán. Lo cierto es que la Cuarta Revolución Industrial se presenta con incertidumbres no sólo en cuanto al nivel de empleo sino también en cuanto a su calidad y su variedad, y a aspectos tan amplios como los modelos de negocio, las profesiones más demandadas, las ocupaciones que serán desplazadas y las que aparecerán para ofrecer nuevos servicios, las rentas del trabajo y la legislación, por nombrar algunos.

4.5.1. Nuevas profesiones y desaparición de algunas de las actuales

La digitalización de las empresas y organizaciones, el software inteligente, la robótica, el Big Data, la Inteligencia Artificial (IA), los drones y/o la Fabricación Aditiva (AM), desplazarán algunas actividades y profesiones actuales y harán que otras nuevas se desarrollen (profesiones que ahora no existen) [126], [127]. El riesgo de pérdida de empleo en España en los próximos 10-12 años debido a la automatización (los que tienen al menos el 70% de probabilidad de ser sustituidos por máquinas) se cifra en el 12% según el estudio *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries* [128], publicado en mayo de 2018, y según *BBVA Research* publicado en marzo de 2018 [122], la cifra será de un 36%. Este resultado se basa en el estudio de Frey y Osborne [124] de 2016, en el que clasifican 702 ocupaciones diferentes de Estados Unidos en función de su probabilidad a ser sustituidos como resultados de la automatización.

Algunos autores [128] matizan los resultados del estudio de Frey y Osborne [124], argumentando que aunque la velocidad de desarrollo de la tecnología es exponencial (una de las características de la cuarta Revolución Industrial), su inserción en la sociedad y en la industria no depende exclusivamente del factor de desarrollo de la tecnología sino que debe tratarse de manera más completa, teniendo en cuenta el contexto político y social de cada país y además teniendo en consideración el factor humano, es decir, que parte de las nuevas tecnologías que se desarrollarán serán asumidas por la sociedad no cuando se desarrollen sino cuando la sociedad esté preparada para ello.

Los valores cuantitativos ayudan a entender la importancia de este tema y a comprender por qué las medidas preventivas son esenciales. Si se toman las probabilidades de automatización obtenidas por Frey y Osborne [124] y se aplican a la población activa del primer trimestre de 2018 en España, publicados por el Instituto Nacional de Estadística [129], clasificadas según la actividad económica, de descubre que 1.754.000 personas se encuentran en puestos de trabajo con alta probabilidad de automatización (los que tienen al menos el 70% de probabilidad de ser sustituidos por máquinas), y solamente 1.550.700 disponen de puestos con un riesgo bajo de automatización (los que tienen menos del 30% de probabilidad de ser sustituidos por máquinas). Los datos pueden verte en la Tabla 13 y de forma gráfica en la Figura 6.

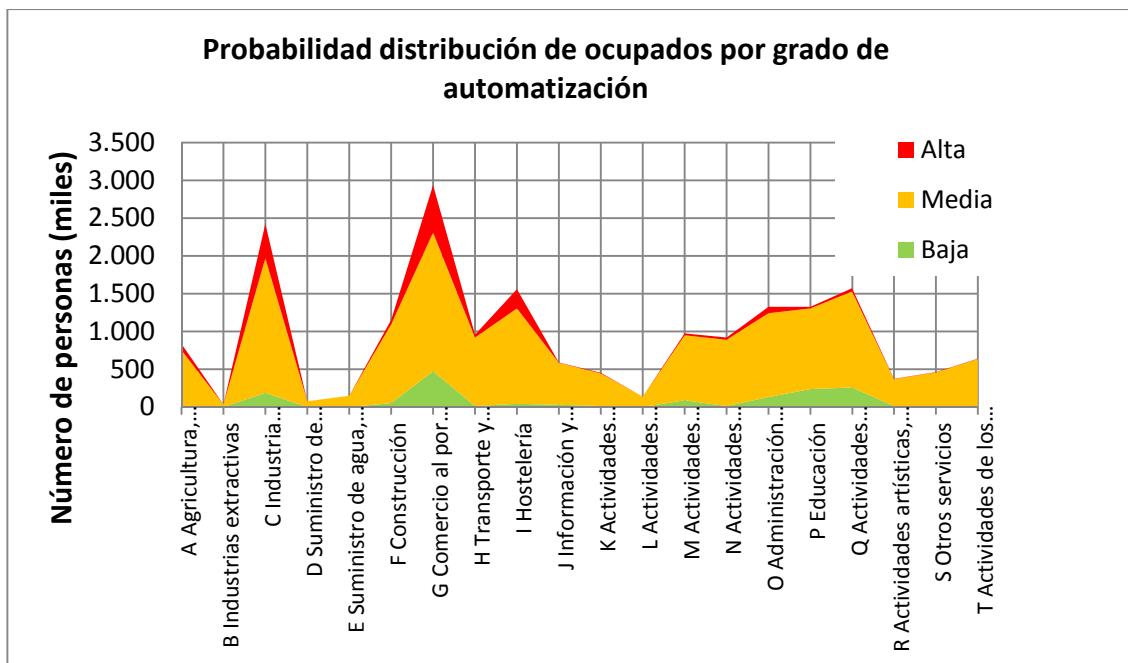


Figura 6. Probabilidad de distribución de ocupados en España por grado de automatización.

4.5.1. Brecha digital

Una de las consecuencias de la automatización es la aparición de nuevos empleos relacionados con la tecnología. Algunos no están definidos en la actualidad, son desconocidos. Estas ocupaciones requerirán de formación específica y habilidades concretas a las que no toda la población tendrá acceso. Los puestos con mayores exigencias de cualificación serán cada vez más remunerados y los empleos con menor

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

requerimiento de preparación serán cada vez menos remunerados. En todos ellos, las tareas rutinarias podrán ser robotizadas.

Tabla 13. Probabilidad de distribución de ocupados en España por grado de automatización

	Ocupados por rama de actividad. Ambos sexos.		Probabilidad distribución de ocupados por grado de automatización (%) (*)		Probabilidad distribución de ocupados por grado de automatización (valor absoluto) (miles de personas)		
	Valor absoluto (**)	Porcentaje (**)	Baja	Alta	Baja	Media	Alta
	2018T1 (miles de personas)	2018T1 (%)	<0,3	>0,7	<0,3	>0,3 y <0,7	>0,7
A Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	833,8	4,40	0,50	10,30	4,2	743,7	85,88
B Industrias extractivas	34,3	0,20	0,10	0,20	0,0	34,2	0,07
C Industria manufacturera	2.420,7	12,80	7,60	18,70	184,0	1.784,1	452,67
D Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y AA	73,8	0,40	0,60	0,20	0,4	73,2	0,15
E Suministro de agua, saneamiento, residuos	147,6	0,80	0,30	0,80	0,4	146,0	1,18
F Construcción	1.151,9	6,10	4,40	5,30	50,7	1.040,2	61,05
G Comercio por mayor /menor; vehículos de motor	2.934,2	15,50	16,20	21,30	475,3	1.833,9	624,98
H Transporte y almacenamiento	958,5	5,10	1,20	4,20	11,5	906,7	40,26
I Hostelería	1.558,5	8,30	2,60	16,30	40,5	1.263,9	254,04
J Información y comunicaciones	587,2	3,10	4,90	0,80	28,8	553,7	4,70
K Actividades financieras y de seguros	453,1	2,40	2,10	2,50	9,5	432,3	11,33
L Actividades inmobiliarias	136,0	0,70	0,30	0,40	0,4	135,0	0,54
M Actividades profesionales, científicas y técnicas	974,3	5,20	9,00	2,60	87,7	861,3	25,33
N Actividades administrativas y servicios auxiliares	916,9	4,90	1,30	3,00	11,9	877,5	27,51
O Administración Pública y defensa; Seguridad Social	1.327,1	7,00	9,80	6,50	130,1	1.110,8	86,26
P Educación	1.323,0	7,00	17,80	1,60	235,5	1.066,3	21,17
Q Actividades sanitarias y de servicios sociales	1.571,3	8,30	16,50	2,60	259,3	1.271,2	40,85
R Actividades artísticas, recreativas y entretenimiento	373,6	2,00	2,70	1,70	10,1	357,2	6,35
S Otros servicios	459,0	2,40	1,30	1,00	6,0	448,4	4,59
T Actividades de los hogares empleadores de doméstico.	637,7	3,40	0,70	0,80	4,5	628,1	5,10
U Actividades de organizaciones ...	1,8	0,00					
TOTAL	18.874,3	100,0	99,9	100,8	1550,7	15567,7	1754,0

Tabla elaborada con datos de (**) población del trimestre 1 de 2018 INE. Instituto Nacional de Estadística [130]] y (*) datos de probabilidad de automatización y distribución de ocupados por grado de automatización tomados de BBVA Research [122]. Elaboración propia.

Esta posibilidad puede dar lugar a un desplazamiento de las externalizaciones de los trabajos más rutinarios, que actualmente están localizadas en países con salarios más bajos y que en el futuro puede que se desarrollen por máquinas y robots [9]. Esta situación genera lo que se denomina “brecha digital” entre los trabajadores que están en el mercado digital y los que no. Podemos pensar en una sociedad con una separación de “castas” como resultado de un mercado laboral muy polarizado (muy peligrosa para la estabilidad social).

Tal y como desarrollan Frey y Osborne [124], si separamos el mercado del empleo en tres: empleos muy tecnológicos (o con requerimientos “humanos”) con alta remuneración, empleos medios (ni muy tecnológicos ni muy rutinarios) con remuneración media, y empleos muy rutinarios pero muy poco remunerados, aquellos del rango medio son lo más susceptibles de ser sustituidos por la automatización ya que la relación beneficio /coste resulta más rentable (ventas, administración, transporte, servicios, tareas productivas o manufactureras). Los primeros requieren de mucha cualificación o de características difícilmente automatizables, relacionadas con el comportamiento humano (programadores, especialistas en seguridad digital, diseñadores, psicólogos, médicos, artistas, profesores, jueces, etc.), y los últimos estarán tan poco remunerados que la inversión requerida para su automatización no merezca la pena (*Kellys*, repartidores, recolectores agrícolas).

A diferencia de las revoluciones industriales anteriores, en esta mencionada Cuarta Revolución Industrial, podrán ser objeto de robotización incluso las profesiones que no son rutinarias y que actualmente enmarcamos en las no susceptibles de ser robotizadas. Este cambio ocurrirá a medida que se desarrollen las otras áreas necesarias como la sensorización, la inteligencia artificial o el almacenamiento masivo en volumen muy reducido, entre otros.

Para llevar a cabo la formación a todos los niveles, incluido el empresarial, parece imprescindible disponer de políticas que faciliten el desarrollo de la investigación en todos los ámbitos (universidad, empresa, individual, institutos tecnológicos) y que impulsen la reindustrialización para compensar la pérdida de peso de la industria en favor de los servicios en las economías desarrolladas [131]-[133]. En síntesis, aplicar políticas de empleo efectivas [134]. Parece necesario que se genere la estructura adecuada para facilitar la reinserción laboral, la formación continua y para asegurar la igualdad de oportunidades [135]-[138]. En particular la reinserción laboral de aquellos trabajadores que hayan perdido el tren tecnológico y cuya “brecha digital” aumente cada día, necesitarán de apoyo y formación específica para regresar al mundo laboral.

4.5.2. Mercado laboral

El mercado laboral cambiará (ya está cambiando) tanto por su geolocalización como por su reglamentación. La globalización permite a las empresas no tener fronteras. Esta circunstancia afecta no sólo a las multinacionales con sedes en distintos países [139]. Las PYMES (pequeñas y medianas empresas) serán, muchas ya lo son, también globales puesto que sus servicios pueden ser contratados a través de internet.

Los empleados trabajarán en un mercado global, lo que propiciará que las regulaciones laborales y sindicales dejen de ser nacionales. No habrá límite de territorio. Las relaciones laborales serán ultra flexibles, tanto en los puestos de trabajo como en las competencias, y muy diversificadas: se necesitarán nuevas regulaciones para ordenar la ultra flexibilidad de las plantillas (*workforce on demand*). Nuestros abuelos trabajaron toda la vida para una empresa, actualmente resulta normal haber trabajado para diferentes empresas a lo largo de una vida laboral, nuestros hijos trabajarán simultáneamente para varias empresas diferentes, seguramente realizando distintas tareas. Las empresas tratarán de contratar al personal con talento (“Talento Digital”) sin importar su lugar de nacimiento.

La vinculación al puesto de trabajo o a una sola empresa se debilitará hasta desaparecer, habrá cambios continuos de actividad y/o de empleo, muchos empleados no necesitarán ir a la oficina para trabajar. El empleo será una mezcla de ocupación por cuenta ajena y trabajo autónomo [140]. El modelo se llama *gig economy*, economía colaborativa[141], o economía de los *freelance*, utilizando internet como plataforma [142], como ejemplo se puede pensar en el modelo de la empresa Uber. Se trata de empleo de corta duración para tareas específicas. Los profesionales altamente cualificados que trabajan de manera independiente para varias compañías, organizan su tiempo y desarrollan habilidades que les permiten en distintos equipos de trabajo [143]. En la economía *gig* cada individuo es su propio jefe y puede marcarse su propio horario (si las ganancias se lo permiten), pero el trabajador no lo es por cuenta ajena y tampoco es autónomo. La protección social para estos trabajadores ha de desarrollarse adecuadamente. Los trabajadores se ajustarán a las necesidades del mercado y del mismo modo la legislación tendrá que cambiar para seguir estos modelos de laborales [133]. Una de las posibilidades es la evolución hacia la “flexiseguridad”, que contemple “la protección de los contratos laborales flexibles y la políticas de formación y reinserción”[9], modelo ya desarrollado en los países nórdicos.

La flexibilidad para realizar distintos trabajos será una capacidad valorada, lo que nos lleva a la necesidad de una formación permanente y continuada a lo largo de la vida profesional que permita a los trabajadores la cualidad de adaptación, de modo que la

educación del siglo XXI debería “enseñar a aprender”. “Y es que la educación está íntimamente ligada al cambio tecnológico: no sólo forma a los inventores del presente y del futuro sino que dota al conjunto de la población de las herramientas necesarias para adaptarse a las nuevas tecnologías y sacarles el máximo potencial”. [106], [144].

Para reducir los efectos que puede causar la cuarta Revolución Industrial es necesario que las administraciones públicas elaboren un plan que pueda ser puesto en marcha con suficiente antelación y que eliminen barreras institucionales y propicien infraestructuras para minimizar los efectos negativos en el mercado de trabajo.

La inversión en el capital humano, factor de producción dependiente no sólo de la cantidad, sino también de la calidad, del grado de formación y de la productividad de las personas involucradas en un proceso productivo, va a ser cada vez más determinante para el crecimiento de las economías [145].

Por ello, los centros docentes y universitarios deberían propiciar una mayor y estrecha colaboración entre Universidad y Empresa, particularmente en España, donde la investigación universitaria no se está traspasando con fluidez al mercado empresarial, lo que provoca a su vez que haya un bajo impacto de la financiación en investigación privada.

4.5.3. Inversión en I+D+i (Investigación, Desarrollo e innovación tecnológica) en España

El desarrollo de la AM y su utilización en la fabricación depende de la culminación de diversos procesos de investigación, desarrollo e innovación. La inversión de cada país en I+D+i es un indicador del apoyo de las políticas gubernamentales para incentivar el crecimiento económico y la productividad, y se entienden como base del progreso y bienestar social de ese país.

Los planes y las principales políticas relacionadas con I+D+i en España se resumen a continuación.

Respondiendo a esta Estrategia Europa 2020 [146], España modifica su “Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología” (2007-2015) [147] aprobando la “Estrategia Nacional de Innovación” (E2i) en 2010 con cinco ejes prioritarios [148].

En 2012, la “Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020” [129] sustituye a los planes anteriores, ante la caída de financiación de la I+D en España (cambiando la tendencia creciente de las décadas previas) debido en parte a la

crisis económica, y después de comprobar que los resultados obtenidos con dos planes anteriores no alcanzaban los objetivos que se habían propuesto.

El “Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020” [149] es el instrumento que utiliza la Administración General del Estado para el desarrollo y alcance de los objetivos de la Estrategia Europa 2020 y de la Estrategia Española. En este Plan se incluyen solamente las ayuda reservadas a I+D y está constituido por cuatro Programas Estatales (al igual que el “Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016” [150]).

La evolución de los principales indicadores refleja la situación de la I+D en España. Dichos indicadores se pueden consultar en “Indicadores del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación Edición 2017” de la página web publicada por el FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) [151].

5. LA FABRICACIÓN ADITIVA EN 2030

A la luz del Estado del Arte ya expuesto y una vez desarrollado el panorama normativo y las implicaciones que se esperan de la revolución tecnológica a la que asistimos, cabe preguntarse cómo será la formación de los especialistas en impresión 3D.

El primer paso para analizar el futuro de la enseñanza universitaria española en la materia de Fabricación Aditiva, es definir un escenario probable de esta industria en ese futuro. Para ello, se recurre a la mejor fuente conocida, los expertos en la materia, y se analizan las respuestas obtenidas de una encuesta específica.

Por otra parte, para conocer la situación actual de la formación universitaria en Fabricación Aditiva, particularmente en el Grado en Ingeniería Mecánica, se clasifican y se recogen en este documento el estado de la enseñanza sobre impresión 3D en los planes universitarios actuales. La información actual se complementa con las contestaciones recibidas de una segunda prospección enviada a profesores universitarios relacionados con la fabricación. En esta exploración también se obtienen datos de lo que los profesores opinan sobre la inclusión de la enseñanza de la Fabricación Aditiva en la asignatura de Ingeniería de Fabricación.

El estudio y la comparación de los resultados de las consultas proporcionan un contexto de lo que está ocurriendo en la formación en fabricación y de cómo debe modificarse para superar los futuros retos que auguran los expertos.

5.1. La Fabricación Aditiva en 2030

La Fabricación Aditiva es un término que define a un conjunto de tecnologías que están desarrollándose a gran velocidad y que tienen la capacidad de revolucionar el panorama de la fabricación actual debido a sus características[69]. La utilización de estas tecnologías afecta al modo en que se diseñan las piezas, a la manera en que se producen, a los materiales que se utilizan, a las máquinas que se usan para la fabricación e incluso puede modificar la logística y los canales de distribución de las piezas fabricadas [5], [28], [29], [33], [152].

Lo natural es que los cambios que provocará la utilización de las diferentes tecnologías agrupadas bajo el nombre de Fabricación Aditiva no ocurran simultáneamente ni de forma homogénea. No se sabe cómo se desarrollará la impresión 3D en el futuro, pero acercarse a ese conocimiento sería muy útil y permitiría, entre otras cosas, adecuar la formación de los futuros técnicos. De esta manera se podría ajustar la formación impartida en la materia con las necesidades de la fabricación en el futuro.

Para realizar una prospección sobre el estado de desarrollo e implantación de las tecnologías de Fabricación Aditiva en un futuro relativamente cercano se elige la metodología de prospección Delphi, avalada por diversos autores [33], [51], [53], [54], [56], [62]-[65], [153]-[156] y utilizada como técnica para construir consensos.

Se selecciona el año 2030 como horizonte temporal objeto de la exploración, entendiendo que es un tiempo convenientemente cercano al 2018 para permitir una proyección con criterio de los expertos en la materia y con la lejanía adecuada para poder sugerir y poner en práctica las conclusiones que se deduzcan de los resultados, por ejemplo, las sugerencias que se deriven en torno a la formación.

5.2. Desarrollo de la elaboración de la prospección

Una vez concretada la metodología a utilizar en la consulta, se inician los trabajos de elaboración del formulario y elección de los expertos, según las cuatro fases principales del proceso Delphi [157] que muestra la Figura 7.

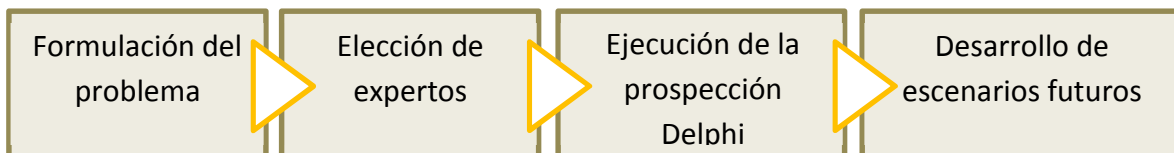


Figura 7. Fases principales del proceso Delphi.

La población objetivo de la encuesta está formada por profesores e investigadores relacionados con la ingeniería de fabricación e ingeniería de materiales. La heterogeneidad requerida para una aplicación adecuada del método Delphi se consigue haciendo participe a expertos de toda España, con distintas responsabilidades en diferentes áreas geográficas.

Para facilitar la contribución y poder conseguir un nivel de respuesta relevante se decide limitar la forma, el formato y la extensión de la consulta. Las condiciones acordadas por los autores se resumen en los seis puntos siguientes:

1. Cada proyección se presentada de forma breve y concisa. Se formulada sin explicación adicional ni notas aclaratorias.
2. La redacción debe ser sencilla y entendible con una simple lectura.

3. El formulario se elabora de manera que las respuestas puedan realizarse con una sola actuación del participante, sin introducción de datos o valores por parte del experto, por ejemplo un “click” de ratón.
4. Para unificar las respuestas, la valoración de cada cuestión debe ser cualitativa, no cuantitativa. La transformación de los resultados cualitativos a valores cuantitativos se elabora tras la recopilación de los cuestionarios individuales y la realiza el equipo investigador, por tanto es transparente para los participantes.
5. Se decide que el número de opciones entre las que el participante puede elegir sea un número par, para evitar que haya una opción central, que resulte cómoda ante una elección poco comprometida. Se acuerda sean cuatro el número de opciones presentadas al experto entre las que puede elegir su nivel de acuerdo con la proyección futura. De esta manera, cada experto debe elegir entre las alternativas: en absoluto, puntual, mayoritaria o totalmente de acuerdo con cada una de las proyecciones planteadas.
6. La consulta en su totalidad debe de ser breve, permitiendo a un experto completarla en menos de 5 minutos, de modo que se acuerda que la encuesta presente entre 15 y 20 escenarios. La consulta se envía finalmente con 21 cuestiones. La brevedad en contestar el formulario se considera un factor clave para poder obtener un buen nivel de respuesta.

Tras la elaboración de la encuesta y la selección de los remitentes se procede al envío de la encuesta. Los participantes deben contestar al formulario de manera individual, sin conocer las respuestas del resto de copartícipes, ni el nivel de participación. Solamente después de cerrar la primera ronda, es decir, después de recibir las respuestas de los expertos y elaborar una respuesta de grupo, los resultados del grupo se compartieron con todos los copartícipes. Los expertos deciden entonces si esa respuesta de grupo les influye o no en la siguiente valoración.

Se decide no utilizar la aplicación “*Real-Time*” o en tiempo real introducido por Gordon y Pease en 2006 [158] en la que los participantes de una prospección pueden ver las respuestas del conjunto de aquellos que hayan contestado con anterioridad, de modo que esta información puede influir en su respuesta (incluso durante la primera ronda) [154]. Esta decisión se basa en que en el modelo Delphi en tiempo real, la influencia en las respuestas viene dada por los expertos que ya han contestado a la encuesta, es decir, que al segundo experto que contesta le pueden influir las respuestas del primero que lo hizo, al tercero, las respuestas de los dos primeros y así sucesivamente. El experto más influyente es el primero en contestar a la encuesta (arbitrariedad de la

influencia). Con esta variante se pierde la igualdad en valoración de participación que tiene el método Delphi estándar.

Los pasos seguidos en el proceso de la prospección Delphi se resumen gráficamente en Figura 8.

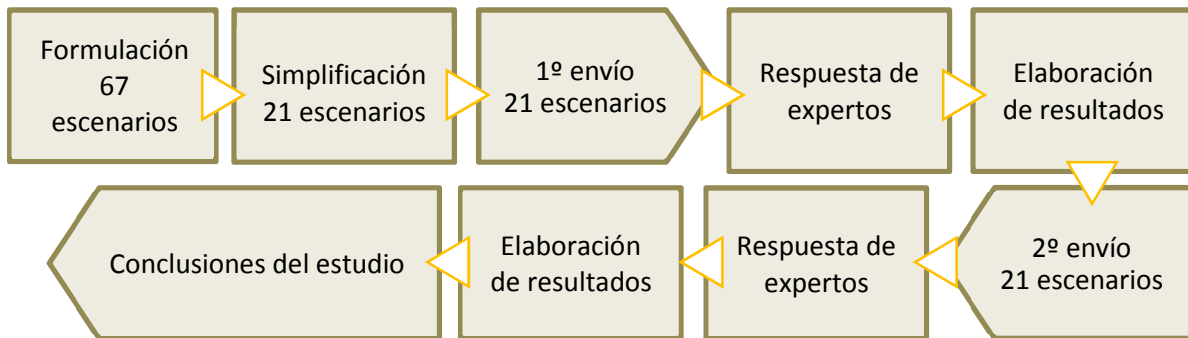


Figura 8. Pasos principales del proceso de prospección.

La herramienta seleccionada para la presentación y envío de la consulta es *Google Forms* [70], porque además de ser gratuita, permite el envío de los resultados a una hoja de cálculo Excel de forma inmediata, facilitando así el posterior tratamiento de los resultados. Para la comunicación de la información se utiliza el correo electrónico [71].

5.3. Desarrollo de las etapas principales de la prospección Delphi

5.3.1. ETAPA 1: Formulación del problema

Como se ha indicado, la encuesta consta de 21 escenarios, resultado de un esfuerzo de síntesis por parte del equipo investigador que inicialmente partía de 67 cuestiones que incluían diferentes aspectos y perspectivas, consideradas inicialmente relevantes [159]. Estos 21 escenarios fueron probados y ajustados por el propio equipo de investigación y se especifican en detalle en las Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16. La formulación de la encuesta incluye los aspectos más relevantes de la recopilación inicial y se divide en tres bloques diferenciados por su temática y también por la manera en que los participantes podían responder por la formulación de las preguntas.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tabla 14. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 1 de preguntas.

nº	BLOQUE 1:	Ámbito
1	En 2030 se podrán fabricar piezas en más del 50% de los hogares de los países industrializados.	Modelo de negocio: casero/ tienda especializada/ gran factoría
2	En 2030, más del 50% de los productos se fabricarán en tiendas especializadas con personal especializado cercanas al consumidor (como las fotocopiadoras en su momento).	
3	En 2030, más del 50% de los productos se fabricarán en factorías donde la AM se incorpora entre sus procesos de fabricación como un grupo más de tecnologías	
4	En 2030, más del 70% de los prototipos se fabricarán con tecnologías de AM	Desarrollo de sectores reales en el mercado / cambios en la fabricación
5	En el 2030, más del 50% de las herramientas se fabricará con tecnologías de AM	
6	En el 2030, más del 50% de la producción mundial se realizará con tecnologías de AM	
7	En el 2030 no se utilizarán tornos para fabricar	
8	En el 2030 el control de los procesos de AM se realizará en tiempo real. Los sensores y dispositivos de control de producción estarán integrados y generalizados en la AM	Calidad y control de piezas
9	En el 2030 habrá un nuevo nicho de mercado para producciones personalizadas que solo podrá ser fabricado mediante AM	
10	En 2030 los usuarios obtendrán los formatos digitales de las piezas a fabricar desde una (o varias) BBDD	Cadena de suministro y distribución
11	En 2030 los formatos digitales serán gratis y de libre acceso	
12	En 2030, más del 50% de la fabricación estará deslocalizada o distribuida. La producción se realizará en puntos cercanos a su consumo y el sector de la distribución (cadena de suministro) habrá cambiado para dar servicio a esta nueva forma de fabricación	
13	En el 2030, más del 75% de los procesos y las tecnologías de AM estarán clasificados, sus características de producción documentadas y normalizadas	Grado de madurez de AM / cualificación de personal / legal
14	En el 2030 se necesitará una formación y cualificación específica para producir con AM	
15	En 2030 existirá un procedimiento para la emisión de garantía de piezas únicas (personalizadas) fabricadas con tecnologías AM	
16	En 2030 la AM habrá contribuido a la sostenibilidad de la fabricación (la fabricación será menos contaminante que actualmente)	Sostenibilidad

El primer bloque contiene cuestiones sobre el mercado y los modelos de negocio y trata de responder a las siguientes preguntas. El segundo bloque de preguntas trata de

vislumbrar las categorías de procesos que se utilizarán en el 2030 en función de los modelos de fabricación y el tercer bloque de cuestiones se centra en las posibles tecnologías de fabricación que prevalecerán, y en las fortalezas y debilidades de la AM.

Las cuestiones que se muestran a continuación ilustran el contexto y la situación de partida del equipo investigador a la hora de concretar las preguntas que finalmente se deciden enviar en la prospección Delphi.

¿Cómo será el nuevo mercado de la manufactura? ¿Cómo afectará la AM al panorama global de la fabricación? Por ejemplo, los fabricantes que usen AM ¿tendrán más flexibilidad y movilidad? ¿Podrán planificar (proyectar), diseñar y/o realizar pruebas (test) más rápidamente? ¿Sustituirán la tecnologías de AM a la manera actual de fabricar? de ser así, ¿Cuándo ocurrirá, en qué sectores, o con qué procesos de AM?; o por el contrario ¿Se mantendrán las tecnologías y técnicas actuales de fabricación? ¿Para qué productos/piezas? ¿Cambiarán las organizaciones, los modelos de negocio, las industrias, o las cadenas de suministro? ¿Cómo influirá la AM en la relación cliente proveedor? ¿Cómo va a cambiar la AM las relaciones en el ecosistema industrial?

¿Para qué productos o sistemas de producción parece más prometedora la AM? ¿Cómo se puede extender la vida de productos y componentes a través de la impresión 3D? ¿Los productos personalizados o individualizados tendrán más valor en el mercado? ¿Cuánto más? ¿Cuáles serán las implicaciones de la Fabricación Aditiva en la continuidad/sostenibilidad industrial? ¿Cuáles serán los nuevos productos y servicios posibles con la AM? ¿Cuáles son las áreas de intersección de la Impresión 3D con aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales y medioambientales? ¿Qué tipo de políticas públicas serán necesarias para fomentar el surgimiento de la AM? ¿Qué políticas serán necesarias para asegurar unos conocimientos sobre Fabricación Aditiva suficientes en la mano de obra (personal)?

¿La fabricación en el futuro se realizará mayoritariamente en los hogares, utilizando impresoras 3D que se parecerán a los actuales ordenadores de uso casero? ¿Dará lugar a la generalización de la figura denominada en inglés *prosumer* (como unión de las palabras productor *-producer-* y consumidor *-consumer-*) de modo que cada usuario podrá fabricar sus propias piezas? ¿Cómo cambiará el concepto de comercialización esta democratización de la fabricación? ¿Y el concepto de garantía de producto? ¿Cómo se evitará la fabricación de piezas no permitidas, por ejemplo las armas? ¿Podrán su vez los *prosumer* comercializar sus propias piezas? ¿Qué regulación puede arbitrar este comercio, por ejemplo en cuanto a garantías o a responsabilidad, entre otros aspectos?

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

¿Se fabricará en tiendas especializadas a pequeña escala con múltiples pequeños talleres replicados como franquicias? ¿Estos talleres pertenecerán a propietarios particulares que deciden abrir un negocio (con técnicos especialistas) o a grandes corporaciones que dominarán qué máquinas y qué tecnologías se pueden utilizar (tipo franquicia)? ¿Qué tipo de productos se podrán fabricar en los talleres? ¿Con qué tecnologías? ¿La única ventaja respecto a la fabricación masiva será la personalización o el diseño, o habrá ventajas adicionales? ¿Cuáles?

¿Se fabricará utilizando el modelo actual (grandes centros de manufactura)? En este caso ¿Cómo han de cambiar los procesos de fabricación para que se utilicen las tecnologías de AM? ¿Cómo ha de cambiar el control de los mismos? ¿Qué impactos podrá tener la difusión de estas tecnologías sobre las compañías manufactureras? ¿Cómo pueden estas compañías llegar a ser líderes globales en esta nueva era de la fabricación digital?[160]

Tabla 15. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 2 de preguntas.

nº	BLOQUE 2:	Ámbito
17	<p>En el 2030, las técnicas que se utilizarán de manera extensiva para la "Fabricación CASERA" son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fotopolimerización en tanque o cuba Extrusión de material Proyección de material Fusión de lecho de polvo Proyección de aglutinante Deposición de energía localizada Laminado de hojas Otra 	Categorías de procesos
18	<p>En el 2030, las técnicas que se utilizarán de manera extensiva para la "Fabricación HIBRIDA" son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fotopolimerización en tanque o cuba Extrusión de material Proyección de material Fusión de lecho de polvo Proyección de aglutinante Deposición de energía localizada Laminado de hojas Otra 	Categorías de procesos

¿Cómo se introducirán las tecnologías de AM en la industria? ¿Se aplicarán las tecnologías de impresión 3D para crear nuevos sistemas industriales o se integrarán en los sistemas industriales actuales? ¿Se generarán procesos de fabricación nuevos que sustituirán a los procesos existentes? ¿Las máquinas de Fabricación Aditiva serán más grandes y aumentarán las velocidades de fabricación de modo que se podrá producir a bajo coste compitiendo con los métodos actuales? [161] O ¿se utilizarán las tecnologías de Impresión 3D sólo en casos en los que dichas tecnologías aporten gran valor añadido, gran especialización y escaso número de piezas a fabricar (casos especiales y nichos, como aeronáutico, automoción?), ¿o en casos en los que la necesidad sea la personalización en la fabricación (órganos humanos, prótesis bucales, audífonos [26], [27], [162])? O quizás ¿complementarán las tecnologías de Fabricación Aditiva a los métodos actuales de fabricación, formando parte de las cadenas de producción como una serie de tecnologías adicionales a las utilizadas actuales? ¿Acabará utilizándose la AM mayoritariamente para realizar prospecciones de mercado y producciones de pequeña escala debido a la reducción de costes en estos casos?

En el ámbito de grandes fábricas ¿Es el marco temporal una ventaja? Es decir, ¿El que primero aplique las técnicas de Fabricación Aditiva tendrá ventaja de mercado? ¿Qué impacto tendrá este modelo sobre las compañías manufactureras? ¿Cómo seguirán siendo punteras estas compañías? ¿Cómo podrán seguir siendo rentables? ¿Qué factores determinarán si una compañía debe fabricar o comprar un componente o producto producido con impresión 3D? ¿Qué estrategias elegirán las compañías actuales para abordar el nuevo panorama de fabricación? ¿Y los nuevos operadores (*entrants seeking*) para crear y capturar valor de las tecnologías de Fabricación Aditiva? ¿Cómo puede la AM habilitar una mayor participación de los clientes en el proceso de fabricación?

¿En qué sectores madurará antes la AM, en el de prototipado, en el de herramientas o en el de la fabricación en general? ¿Se habrá desarrollado tanto y su impacto será tan fuerte como para que se desechen las técnicas actuales de fabricación? Por ejemplo ¿el torno estará fuera de uso porque se fabrique mayoritariamente con tecnologías de AM? ¿Será la Fabricación Aditiva un sustituto para los procesos de fabricación existentes o será complementaria a los métodos de producción actuales? En este último caso ¿Cuáles son los retos de integrar la impresión 3D en las operaciones actuales?

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

Tabla 16. Escenarios Delphi para 2030. Bloque 3 de preguntas.

nº	BLOQUE 3:	Ámbito
19	<p>Elija las 3 tecnologías que según su criterio prevalecerán en el mercado sobre las demás en el 2030 (serán las más utilizadas). ¿Qué 3 tecnologías sobrevivirán sobre las otras?</p> <p>Estereolitografía (SLA) Fabricación con Filamento Fundido (FDM) Sinterizado Láser Selectivo (SLS) Fusión Selectiva con Laser (SLM) Deposición directa de Metal (DMD) Fabricación por Laminación (LOM) Otra</p>	Tecnologías
20	<p>Indique los 3 factores que considere más relevantes para que la AM se “imponga” entre los métodos de fabricación en el 2030</p> <p>Democratización de la fabricación Libertad de diseño. Flexibilidad en los cambios de diseño. Reducción de ciclos de desarrollo de producto y de tiempo de salida al mercado Menor coste de utillaje Producciones más cortas. Producción personalizada o unitaria Menor coste de materia prima (menos residuos) Reducción de costes y tiempos de transporte y distribución Reducción de stocks: de materia prima y de producto terminado Aportación a la sostenibilidad medioambiental Otra</p>	Puntos fuertes
21	<p>Indique los 3 factores que le parecen clave a resolver para que la AM haya “despegado” en 2030</p> <p>La limitación técnica para conseguir las propiedades requeridas en el producto final La certificación de piezas y productos terminados El cambio en la manera de pensar a la hora de diseñar las piezas La propiedad industrial, la fiscalidad y la seguridad de los productos fabricados La necesidad de formación de los operadores de las máquinas de AM El coste de las materias primas, maquinaria y/o transporte La limitación de volumen y/o velocidad de fabricación La necesidad de post-procesados La integración de la AM en los métodos de fabricación actual Otra</p>	Puntos débiles

¿Qué garantías de fabricación tendrán las piezas caseras? ¿Cómo podrán asegurar la calidad el proveedor (quizás las corporaciones) que haya vendido el diseño de la pieza? ¿O simplemente no serán responsables de la calidad impresa, sólo de la del fichero digital? ¿Cómo serán los seguros de las máquinas que utilicen estas piezas si no hay responsabilidad ni certificación de la pieza impresa? Uno de los grandes puntos por resolver actualmente para la aceptación técnica y social de piezas producidas con la AM es la falta de estandarización y normalización (y por tanto garantías) para piezas personalizadas y por tanto únicas.

¿Qué garantías de fabricación existirán según los distintos modelos de fabricación? ¿Cómo cambiará la definición actual de calidad de fabricación? ¿La supervisión y el control de los procesos de fabricación se realizarán en tiempo real? Es decir ¿estarán los sensores integrados en la propia fabricación (aunque sea con técnicas de impresión 3D) y se utilizarán de forma generalizada, aunque actualmente no sepamos el modo en el que esto ocurrirá? De ser así, sería un gran impulso para que estas tecnologías de fabricación se utilizaran de forma generalizada en la producción de bienes de consumo. Ya no habría que esperar a tener la pieza completamente terminada para comprobar sus propiedades sino que la comprobación podría hacerse en distintas estancias de fabricación, mejorando la calidad final y asegurándola (resistencia de materiales, terminación, compactación, etc.). ¿Serán la robótica y la sensorización los campos en los que sea necesario un desarrollo mayor de la ingeniería de fabricación en el futuro?

¿Aparecerá un nicho de mercado nuevo debido a la reducción de coste por la producción personalizada a pequeña escala? ¿Cómo han de definirse y de probarse los estándares de calidad en una red de fabricación distribuida? ¿Quién tiene la responsabilidad de los bienes producidos, el diseñador de modelo, el que lo personaliza, el que lo produce? ¿Cuándo se desarrollarán los protocolos y pruebas para certificación de productos fabricados con tecnologías de Impresión 3D?

Para modificar una pieza previamente diseñada ¿se necesitará un experto o será tan sencillo que podrá hacerlo cualquier usuario no entrenado? En caso de ser necesario un experto ¿Cómo se gestionará la verificación remota de ese experto? ¿Cuándo se desarrollarán los planes de estudio para cualificación de personal experto? ¿Qué cualificación será necesaria (diseño, fabricación, IT, materiales, química, física...) para la utilización de tecnologías de Fabricación Aditiva? ¿Cuándo estará definida esa cualificación necesaria? En definitiva, ¿Qué conocimientos serán necesarios para utilizar adecuadamente las tecnologías de impresión 3D y dónde se adquirirán?

¿Cómo afectarán los cambios para la personalización de las piezas a la certificación de la misma, la emisión de sello de calidad por el productor y el mantenimiento de unos estándares de calidad de fabricación? ¿Cómo se podrán definir para cada pieza cuando cada pieza sea diferente? ¿Cuándo estarán desarrollados y tipificados (estandarizados) los métodos no destructivos para evaluación de defectos y geometrías complejas? ¿Habrá un protocolo para cada tipo de fabricación o para cada pieza?, en este último caso ¿qué pasará con la estandarización del proceso cuando se personalice la pieza en cualquiera de sus características o variables?

¿Cómo serán los cambios en la relación cliente-proveedor futuros? ¿Qué vías tendrán las compañías para capturar valor? ¿El valor del producto no estará exclusivamente en la pieza sino que pasará en parte al diseño? ¿Dónde estará el valor añadido, en los equipos tecnológicos, en la materia prima, en el diseño, en los sensores, en la analítica de datos?

En cuanto a la cadena logística y de suministro, ¿Cómo se configurará el mercado de diseños digitales? ¿Se obtendrán los diseños de forma digital a través de internet o existirá un formato físico específico como los CD para la música? Si la distribución es digital ¿Habrá un único repositorio (por ejemplo una única base de datos) donde se encuentren los diseños de todas las posibles piezas a fabricar con las distintas tecnologías listas para que sean fabricados en cualquier momento en cualquier punto del planeta o habrá varios repositorios (y por tanto varios operadores) que compitan entre ellos por la cuota de mercado? ¿Podrá el usuario cambiar estos diseños para personalizarlos o adaptarlos a necesidades específicas? ¿Los consumidores serán diseñadores en el futuro? ¿En qué medida los consumidores podrán participar en el diseño de sus productos? ¿Y en la fabricación de los mismos? ¿En qué medida podrán ser parte del proceso de producción?

¿Los diseños serán de acceso libre o se adquirirán comprándolos? Es decir, ¿los diseños serán gratis y por tanto el mercado competirá en la producción de la pieza (bondad del diseño, máquina y materias primas)? ¿O por el contrario habrá un nuevo mercado, el de comercialización de los diseños a fabricar? Si hay varios operadores que ofrecen diseños, ¿Cómo se distinguirán unos de otros? ¿Cómo se regulará ese mercado? ¿Podrá existir libre competencia? ¿Existirán derechos de diseño, en qué medida (si un particular puede cambiar un diseño adquirido, se convierte en “diseñador”)? ¿Los derechos pertenecerán a particulares (en un modelo más de economía colaborativa) o a grandes corporaciones (tipo Amazon o Google)? ¿Quién arbitrará esos derechos, los organismos oficiales competentes (los gobiernos finalmente) o el libre mercado? ¿Cómo afectará al uso de la Fabricación Aditiva que los

diseños sean propietarios (de pago) o de libre acceso? ¿Cómo evolucionarán las plataformas y comunidades online de AM? ¿Qué tipo de suministradores quedarán des-intermediados debido a la aplicación de la AM? ¿Cómo han de cambiar las redes de suministro de materias primas para adecuarse a la AM?

¿Influirá la forma de fabricar en la manera de distribuir? Es decir, si la fabricación se hace en casa o al menos de forma cercana al punto de consumo (de forma distribuida), ¿Cómo serán las empresas de distribución? ¿Desaparecerán los cargamentos masivos de piezas iguales para ser sustituidos por otros transportes más reducidos y de contenido más variado? ¿O desaparecerá definitivamente la distribución porque la fabricación será mayoritariamente casera? ¿Existirá distribución de cercanía de forma generalizada? ¿La distribución mantendrá el peso actual en la cadena global de fabricación y suministro (el transporte y el acceso al punto de venta o al consumidor), o disminuirá la importancia de esta parte de la cadena aumentando el valor de la primera fase (la de elección y adquisición del diseño a fabricar)? ¿Evolucionarán las empresas logísticas para cambiar el servicio ofrecido? ¿De qué manera será el cambio?

Si la comercialización de los ficheros es digital en el futuro ¿Cómo se impedirá la “piratería”, es decir, cómo se evitarán las copias no controladas de esos diseños? ¿Habrá piratería en las materias primas (copia de materias primas más baratas pero no controladas)? ¿Cómo se gestionará el aseguramiento de la calidad (tanto del diseño como de la pieza fabricada)? ¿Cómo lucharán las corporaciones y los gobiernos contra esa posible piratería?

¿Cómo se distribuirá la materia prima para las “impresoras” caseras? ¿Habrá tiendas especializadas o directamente llegarán a casa (tipo compra por Amazon)? ¿Ocurrirá como actualmente, que las impresoras son realmente baratas pero los cartuchos de materia prima extremadamente caros?

¿Una pieza fabricada con tecnologías AM es menos contaminante que la actual? ¿Por qué? ¿Cómo se debe medir? ¿Cambiará el panorama industrial y urbano si cambia masivamente la forma de fabricar? ¿Cómo será el reciclaje de las impresoras? ¿las impresoras serán realmente servicios (*utilities*)? ¿Qué impacto tendrán los cartuchos de materia prima en el reciclaje? ¿Habrá puntos limpios tal y como los conocemos en función de la materia prima? ¿Cómo reciclaremos las piezas impresas? ¿Qué pasará con los productos que sean impresos con más de un material?

¿Por qué algunas organizaciones están realizando la transición a AM y otros no? ¿La fabricación local ayudará a la regeneración regional, repatriando producciones deslocalizadas por motivos de coste de producción, generará mayor riqueza en los

habitantes-las familias? ¿Podrá la Fabricación Aditiva reducir los costes de la cadena y a la vez aumentar la adaptación de los productos a las necesidades de los consumidores? ¿Podrá operar el sistema en un contexto ético que intente minimizar la exclusión social?

¿Qué tecnologías se desarrollarán más en el modelo de impresión en los hogares? La impresión de metales (*laser sintering, electron beam melting*) ¿seguirá siendo exclusiva de laboratorio/empresa o la tecnología estará tan desarrollada como para poder ser trasladada a los hogares? Es decir, ¿habrá limitación en las tecnologías que se puedan utilizar en los hogares? ¿Y en el modelos de taller cercano y especializado? ¿Y en la hipótesis de que los procesos de fabricación de AM se incorporen a los actuales procesos fabriles en serie (fabricación “híbrida”)? ¿Qué tipo de piezas podremos imprimir? ¿Seguirá siendo la velocidad de fabricación una limitación? ¿Seguirá siendo el volumen de fabricación una limitación?

¿Cómo se podrá acceder a los post-procesados? ¿Existirán centros especializados en tratamientos térmicos, tratamientos superficiales, eliminación de soportes, *finish machining*...)?

¿Cuándo estarán clasificados y delimitados los diferentes procesos de Fabricación Aditiva? ¿Cuáles de ellos podremos utilizar a nivel personal y cuales requerirán de cualificación específica? ¿Cómo se compartimentará el mercado, por el volumen a fabricar, por los materiales a utilizar, por el uso ulterior de la pieza? ¿Cuándo estarán tipificados los materiales para cada proceso? ¿Y el resto de los parámetros de producción y variables de fabricación? ¿Cómo y cuándo se realizará el control de procesos de fabricación con tecnología AM en tiempo real? ¿Habrá una regulación de estándares diferente de sector en sector y será ajustada según cada regulación sectorial? ¿Cómo afectará esto a la estandarización y las garantías de fabricación? ¿Se desarrollarán por cada subsector? ¿Cómo puede la AM utilizar las actividades de mantenimiento, la reparación, recambios y reelaboración (*remanufacturing*)?

5.3.2. ETAPA 2: Selección de expertos

Los expertos invitados a participar en el estudio son mayoritariamente españoles y pertenecen a universidades, centros tecnológicos o instituciones relacionadas con la ingeniería de fabricación y/o la ingeniería de materiales, fundamentalmente docentes e investigadores.

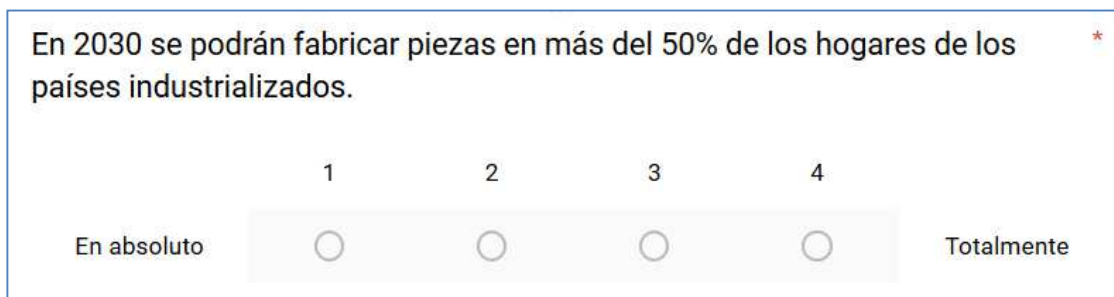
La heterogeneidad deseada para una correcta aplicación de la metodología Delphi se ha conseguido mediante la selección de posibles copartícipes de todo el territorio nacional con vinculación diversa al mundo de la fabricación.

Se envían finalmente 175 invitaciones para colaborar en la investigación.

5.3.3. ETAPA 3: Ejecución de la prospección Delphi

Las preguntas se formulan siguiendo una estructura diferente según el bloque al que pertenecen.

En el primer bloque de preguntas se valora la posición de cercanía del experto con cada uno de los escenarios y enunciados que se plantean, en una escala de cuatro desde “En absoluto” (total discordancia), hasta “Totalmente” (total acuerdo), tal y como muestra la Figura 9 a modo de ejemplo. Solamente una de las cuatro opciones se puede seleccionar. La elección de una de las alternativas es obligatoria para pasar a la siguiente pregunta.



En 2030 se podrán fabricar piezas en más del 50% de los hogares de los países industrializados.

1 2 3 4

En absoluto Totalmente

Figura 9. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 1.

En el segundo bloque, las preguntas se formulan de modo matricial puesto que se pretende evaluar qué categoría de procesos AM (según definición de Norma ISO 017296-2:2015 [19]) se adaptarán más a los dos tipos de fabricación extremos: fabricación casera (elaboración de una pieza en casa mediante un “impresora” casera) y fabricación híbrida (inclusión de las tecnologías de AM en los procesos estándares de fabricación actuales), tal y como se muestra en la Figura 10. El participante debe contestar a cada una de las alternativas planteadas para seguir avanzando en el cuestionario.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

En el 2030, las técnicas que se utilizan de manera extensiva para la "Fabricación HÍBRIDA" son:

	En absoluto	Puntualmente	Mayoritariamente	Totalmente
Fotopolimerización en tanque o cuba	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Extrusión de material	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proyección de material	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fusión de lecho de polvo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proyección de aglutinante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Deposición de energía localizada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Laminado de hojas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 10. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 2.

En el tercer bloque de preguntas se deben elegir tres opciones de entre las propuestas, permitiendo al experto añadir alguna si lo considera adecuado (Figura 11).

Indique los 3 factores que considere más relevantes para que la AM se "imponga" entre los métodos de fabricación en el 2030

- Democratización de la fabricación
- Libertad de diseño. Flexibilidad en los cambios de diseño.
- Reducción de ciclos de desarrollo de producto y de tiempo de salida a mercado
- Menor coste de utillaje
- Producciones más cortas. Producción personalizada o unitaria
- Menor coste de materia prima (menos residuos)
- Reducción de costes y tiempos de transporte y distribución
- Reducción de stocks: de materia prima y de producto terminado
- Aportación a la sostenibilidad medioambiental
- Otra...

Figura 11. Ejemplo de formulación de preguntas del Bloque 3.

5.4. Cronología de la encuesta

La encuesta se envía el 21 de febrero de 2018 a través de un mensaje de correo electrónico a las distintas direcciones de los expertos. El correo se expide de modo que cada experto que recibe la solicitud de participación puede ver solamente su mensaje, es decir, cada potencial participante no sabe quiénes son el resto de posibles copartícipes, ni cuántos son.

El texto que reciben los expertos invitados a colaborar en la prospección es:

Asunto: Encuesta académica (Delphi) UNED-UPM

Usted ha sido elegido para formar parte de un estudio sobre el futuro de la Fabricación Aditiva (AM) dirigido por los profesores Miguel Ángel Sebastián (UNED) y Emilio Gómez (UPM). Se trata de un trabajo de investigación universitaria por lo que las respuestas obtenidas no se utilizarán para fines comerciales u otros fines distintos al de la publicación científica.

Usted recibirá sus propias respuestas así como las conclusiones del estudio una vez elaboradas. Ambas informaciones serán remitidas a la dirección de correo que indique al rellenar la encuesta.

El tiempo para responder la encuesta es menor de 5 minutos.

[Acceda a la encuesta](#)

Gracias por su dedicación y por su tiempo.

A través del hipervínculo que se incluye en el texto se puede acceder directamente al cuestionario cuya estética se puede ver en la Figura 12.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

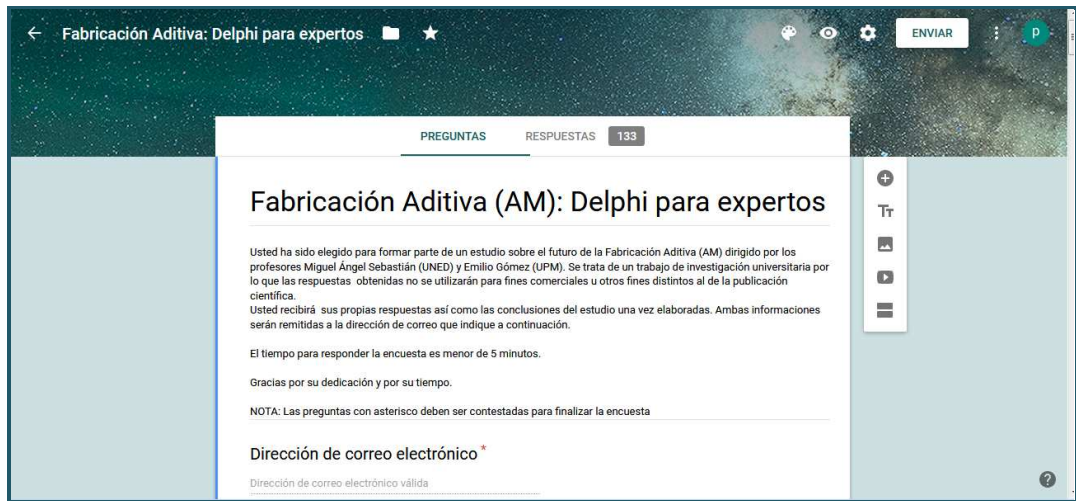


Figura 12. Imagen de inicio de encuesta Delphi en 1ª ronda.

El 27 de febrero se envía un recordatorio a los remitentes de los que todavía no se ha obtenido respuesta. El mensaje en este caso es personalizado. Se aprovecha para poner límite temporal a la prospección el 2 de marzo de 2018. El mensaje enviado es:

ASUNTO: Encuesta académica (Delphi) UNED-UPM

Estimado Sr. "apellido del experto", le pido disculpas por remitirle de nuevo el cuestionario adjunto. Se trata de un estudio sobre el futuro de la Fabricación Aditiva (AM) dirigido por los profesores Miguel Ángel Sebastián (UNED) y Emilio Gómez (UPM), y para nosotros resulta importante su opinión.

Somos conscientes del escaso tiempo del que seguramente dispone para participar en trabajos de investigación de terceros, pero le agradeceríamos que nos dedicara 5 minutos.

Para que su respuesta pueda incluirse en el procesamiento de la presente encuesta Delphi, le rogamos que, si es posible, nos la envíe con fecha límite el 2 de marzo.

[Acceda a la encuesta](#)

Muchas gracias por su tiempo.

El 3 de marzo de 2018 se cierra la encuesta. A partir de esa fecha ya no se admiten respuestas. Se cuenta con un total de 133 participantes. Se procede a la recopilación de contestaciones y al estudio de la respuesta conjunta de grupo.

El 21 de marzo de 2018 se inicia la 2ª ronda Delphi, remitiendo un segundo mensaje a todos los participantes de la primera ronda. El mensaje, que se envía de forma personalizada a cada experto mediante correo electrónico, adjunta un fichero en formato "pdf" que contiene las respuestas que ese experto ha seleccionado en la 1ª ronda de respuestas e incluye el texto adjunto con el vínculo a la encuesta. Una vez que el participante accede a la encuesta para responderla por segunda vez, encuentra el resultado de grupo de la 1ª ronda en la formulación de cada pregunta del cuestionario. De esta forma cada experto dispone de los resultados de grupo de la 1ª ronda (en la encuesta) y de sus propias respuestas particulares (en el fichero "pdf" que se le proporciona), facilitando así la información, la comparación y la posible participación en la 2ª ronda. Se fija el 28 de abril como fecha límite para enviar las respuestas. El mensaje que se envía es:

Estimado Sr. "apellido del experto":

Usted está colaborando en un estudio sobre el futuro de la Fabricación Aditiva (AM) dirigido por los profesores Miguel Ángel Sebastián (UNED) y Emilio Gómez (UPM). Como sabe, se trata de un trabajo de investigación universitaria por lo que las respuestas obtenidas no se utilizarán para fines comerciales u otros fines distintos al de la publicación científica.

Aunque usted ha recibido sus propias respuestas a la encuesta que contestó en la 1ª ronda, se las enviamos de nuevo en un fichero adjunto para su mejor accesibilidad. Además, cuando acceda de nuevo a la encuesta (vínculo más abajo) encontrará información de las tres opciones más valoradas por el conjunto de los más de 100 expertos que, como usted, han participado en la mencionada 1ª ronda, indicando los porcentajes obtenidos por cada respuesta.

Le pedimos que, teniendo en cuenta esta información sobre las opciones con mayor consenso de cada cuestión, reconsidere sus elecciones si lo cree oportuno. Es decir, en cada pregunta puede mantener su respuesta inicial, puede sumarse a la mayoría por un acto de consenso, o por último, puede modificar su respuesta pero quedándose "a mitad de camino" (si usted había respondido Totalmente a una pregunta y la respuesta mayoritaria es Puntualmente, usted puede decidir responder ahora Mayoritariamente).

Si decide no cambiar ninguna de sus repuestas, le rogamos que igualmente nos remita el formulario cumplimentado para considerarle como partícipe del estudio completo.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Tal como ocurrió la primera vez que contestó al formulario, también en esta ocasión sus respuestas serán remitidas a la dirección de correo que indique en el formulario.

El plazo para responder a la encuesta se extiende hasta el 28 de abril.

Como ya sabe, el tiempo para responder la encuesta es aproximadamente de 5 minutos.

Gracias de nuevo por su dedicación y por su tiempo.

[ACCESO A LA ENCUESTA](#)

A través del hipervínculo que se incluye en el texto se puede acceder directamente al cuestionario cuya estética se puede ver en la Figura 13.



Figura 13. Imagen de inicio de encuesta Delphi en 2ª ronda.

El plazo límite para responder se fijó el 28 de marzo de 2018. Por error, se incluye el 28 de abril de 2018 como fecha tope en lugar de 28 de marzo. La rectificación de la fecha límite se envía el 25 de marzo de 2018 a aquellos participantes de la primera ronda que todavía no habían respondido a la segunda. Se aprovecha el correo como invitación y recordatorio de la participación. Se fija el 5 de abril de 2018 como la fecha límite para recibir respuestas de la 2ª ronda. El mensaje enviado es:

ASUNTO: Corrección fecha límite 5 de abril: Encuesta académica (Delphi) UNED-UPM _ 2ª ronda

Estimado “nombre del experto”: Siento molestarte de nuevo para indicarte que he advertido un error en la fecha de entrega de esta segunda ronda de la encuesta Delphi que aparece tanto en el correo que envié como en la entrada del formulario (la intención era establecer dicha entrega el 28 de marzo y no el 28 de abril como escribí por error).

Lamento el error y te pido disculpas.

*Me permito enviarte de nuevo el vínculo al formulario y te ruego que respondas al mismo con límite el **5 de abril**.*

[ACCESO A LA ENCUESTA](#)

Recibe un saludo y mis disculpas de nuevo,

Puerto Pérez

mperez5467@alumno.uned.es

El 6 de abril de 2018 se inhabilita la admisión de respuestas adicionales y se inicia el estudio de las obtenidas en la 2ª ronda de la prospección Delphi.

Finalmente el 22 de agosto de 2018 se envía el artículo publicado en la revista *Materials* con el título “*Delphi Prospection on Additive Manufacturing in 2030: Implications for Education and Employment in Spain.*” [163] a todos los expertos que decidieron participar en la investigación. El texto del mensaje que reciben los coparticipes es:

Estimado experto,

*Agradeciendo su participación en nuestra investigación, adjunto el artículo completo publicado por revista *Materials* con el título “*Delphi Prospection on Additive Manufacturing in 2030: Implications for Education and Employment in Spain*”, que puede encontrar a través del siguiente vinculo.*

<http://www.mdpi.com/1996-1944/11/9/1500/pdf>

Espero que sea de tu interés.

Un saludo,

M. Puerto Pérez-Pérez

Mperez5467@alumno.uned.es

De esta manera se obtienen los datos para sustentar uno de los objetivos de la tesis que es exponer el nivel de desarrollo de la Fabricación Aditiva y las áreas con mayor probabilidad de evolución que se encontrarán en el 2030 según los expertos. Las respuestas al cuestionario enviado han permitido establecer las bases para exponer esta posible situación futura.

Como se verá más adelante, el grado de concordancia en ciertas respuestas es muy ilustrativo y la implicación y nivel de participación de los encuestados pone de manifiesto un indudable interés por la evolución de la impresión 3D.

6. LA FABRICACIÓN ADITIVA EN EL GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA

Como ya se ha expresado, los cambios que se avecinan en los procesos de fabricación han de ser realizados por personal competente. Parece evidente que los ingenieros de un futuro cercano deberán estar adecuadamente formados y preparados para afrontar los retos tecnológicos del futuro [47], [48]. Estos técnicos han de poder utilizar las tecnologías de Fabricación Aditiva de forma exclusiva o de manera inclusiva en los procesos complejos de fabricación [36]-[38].

Para ello es esencial conocer el estado actual de la formación en las ingenierías respecto de estas materias [49], particularmente en aquellas ingenierías de ámbito industrial, como la Ingeniería Mecánica [50]. De igual forma, es interesante comprobar si los planes de estudio de las distintas escuelas de ingeniería se han actualizado, incorporando los conocimientos necesarios relativos a la impresión 3D. ¿Consideran los profesores que esta formación es necesaria? ¿Es adecuada la velocidad a la que se proyectan los distintos cambios de programa?

Este capítulo pretende exponer el grado de implantación actual que tienen las tecnologías de Fabricación Aditiva en la enseñanza real y en los planes de estudio en Ingeniería Mecánica. Para ello se efectúa una recopilación de los planes de estudio oficiales publicados por cada una de las universidades que imparten Grado en Ingeniería Mecánica en España.

Por otra parte, se realiza una consulta a más de 45 profesores de ingeniería mecánica de las principales escuelas de ingeniería de España, y se tratan las respuestas recogidas.

Los resultados de la investigación perfilan la situación actual y por tanto el punto de partida de la modificación que dichos planes de estudio deberían acometer para que los estudiantes de ingeniería adquieran en un futuro los conocimientos, competencias y habilidades necesarios para utilizar la Fabricación Aditiva en su ejercicio profesional. Las conclusiones de esta prospección proporcionan información sobre las variaciones que los docentes consideran que deben ocurrir, o que tienen planificadas en los programas de estudio de un futuro cercano.

6.1. Desarrollo de la elaboración de la encuesta

La investigación sobre la situación de la formación en Fabricación Aditiva actual en España en los grados de ingeniería, requiere del conocimiento de qué titulaciones imparten formación en fabricación. La investigación se centra en la titulación de Grado

en Ingeniería Mecánica, puesto que la formación de los procesos de fabricación es históricamente una materia que forma parte esencial de su plan de estudios. La Figura 14 ilustra gráficamente las tareas del proceso seguido en la investigación.

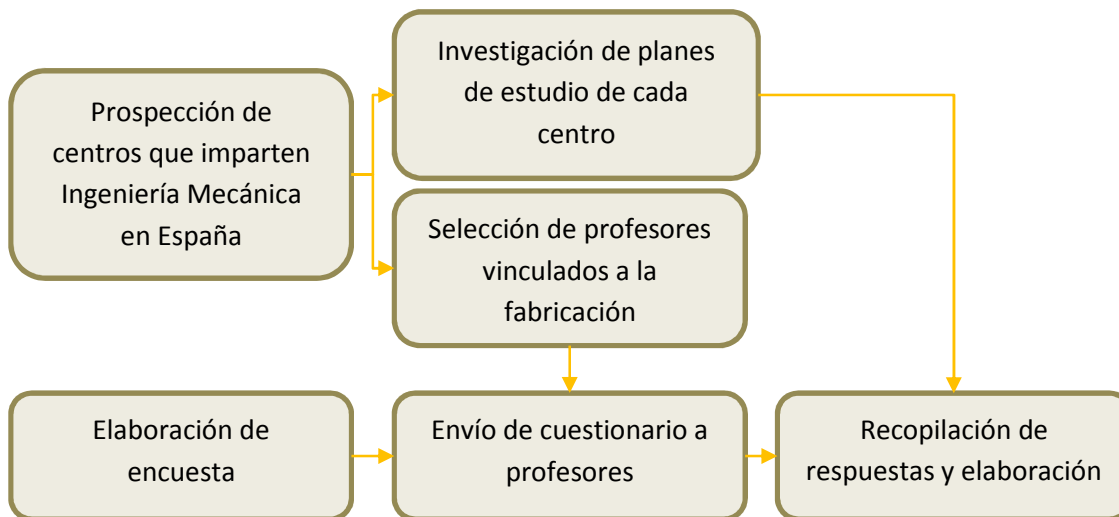


Figura 14. Flujograma de tareas de la investigación.

6.1.1. Centros que imparten Grado en Ingeniería Mecánica

La búsqueda de las universidades y los centros que imparten ingeniería mecánica se realiza mediante la comparación de dos fuentes. Los datos que ofrece el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT) [164], los de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) [165], mediante la búsqueda de “Ingeniería Mecánica”. Los resultados se comprueban además con la información que publica cada Centro Universitario en su página web.

El RUCT proporciona una lista de 44 universidades en las que se puede estudiar Ingeniería Mecánica, mientras que la misma consulta en ANECA facilita un listado de 48 universidades. Esta diferencia se debe a que en ANECA aparecen 3 titulaciones de Ingeniería Electromecánica, correspondientes a las universidades Loyola de Andalucía, Pontificia Comillas y Pública de Navarra. Además, la Universidad Pública de Navarra, que ya se incluía en el RUCT, aparece tres veces, dos de ellas con la titulación Grado en Ingeniería Mecánica y una con la de Grado en Ingeniería Electromecánica. Finalmente, a la lista proporcionada por el RUCT, se anexan en el listado de consulta las dos universidades que, no estando en la información proporcionada por el RUCT, ofrecen formación en Grado en Ingeniería Electromecánica. Se incluyen por tanto las

universidades Loyola de Andalucía, Pontificia Comillas a la lista, sumando un total de 46 universidades.

En la información que aporta el RUCT, se indica que Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Europea de Madrid, es una “titulación a extinguir”. A pesar de esto, se comprueba la página web de la Universidad, en la que no se encuentra la titulación ni el plan de estudios. Se contacta por vía telefónica con la universidad para tratar de aclarar si continúan con la formación de ingeniería, pero no se consigue aclarar si la titulación está o no extinguida. Se decide dar por válida la información del RUCT y por tanto no se incluye la Universidad Europea de Madrid en la lista de universidades a consultar, relación que se adjunta a continuación dispuesta por orden alfabético.

Universidades españolas con formación en Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica

Universidad Alfonso X el Sabio
Universidad Autónoma de Barcelona
Universidad Carlos III de Madrid
Universidad Católica de Ávila (Santa Teresa de Jesús)
Universidad de A Coruña
Universidad de Almería
Universidad de Burgos
Universidad de Cádiz
Universidad de Cantabria
Universidad de Castilla-La Mancha
Universidad de Córdoba
Universidad de Deusto
Universidad de Extremadura
Universidad de Girona
Universidad de Huelva
Universidad de Jaén
Universidad de La Laguna
Universidad de La Rioja
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Universidad de León
Universidad de Lleida
Universidad de Málaga
Universidad de Mondragón
Universidad de Navarra
Universidad de Oviedo
Universidad de Salamanca
Universidad de Sevilla
Universidad de Valladolid
Universidad de Vigo
Universidad de Zaragoza
Universidad del País Vasco
Universidad Jaume I de Castellón

Universidades españolas con formación en Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica

Universidad Loyola Andalucía
Universidad Miguel Hernández de Elche
Universidad Nacional de Educación a Distancia
Universidad Nebrija
Universidad Politécnica de Cartagena
Universidad Politécnica de Cataluña
Universidad Politécnica de Madrid
Universidad Politécnica de Valencia
Universidad Pompeu Fabra
Universidad Pontificia Comillas
Universidad Pública de Navarra
Universidad Rey Juan Carlos
Universidad Rovira i Virgili

Cada Universidad dispone de uno o varios centros en los que imparte la formación. Estos centros se suelen denominar Escuela Técnica Superior, Escuela Politécnica, Centro Superior o simplemente Escuela.

En el estudio se consideran finalmente un total de 59 Escuelas pertenecientes a 45 universidades en las que se imparte el Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica en España.

El reparto geográfico de los 59 centros se refleja gráficamente en la Figura 15, en la que se incluyen también el nombre [166] y localización de las Comunidades Autónomas de España.

Las 31 universidades contactadas finalmente son: Universidad Carlos III de Madrid, Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila, Universidad de Burgos, Universidad de Cádiz, Universidad de Castilla-La Mancha, Universidad de Córdoba, Universidad de Extremadura, Universidad de Girona (Universitat de Girona), Universidad de Jaén, Universidad de La Rioja, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de León, Universidad de Málaga, Universidad de Mondragón, Universidad de Navarra, Universidad de Oviedo, Universidad de Sevilla, Universidad de Valladolid, Universidad de Vigo (Universidade de Vigo), Universidad de Zaragoza, Universidad del País Vasco, Universidad Jaime I de Castellón (Universitat Jaume I), Universidad Nacional de Educación a Distancia, Universidad Nebrija, Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Pompeu Fabra, Universidad Pública de Navarra, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Pontificia Comillas.



Figura 15. Centros que imparten actualmente formación de Ingeniería Mecánica en España por Comunidad Autónoma.

6.1.2. Planes de estudio de las universidades

Tras haber localizado y seleccionado los centros en los que se imparte el Grado en Ingeniería mecánica, se comprueba en cada uno de los planes de estudio de las distintas Escuelas que existe una asignatura relacionada con los procesos y fundamentos de fabricación.

Tanto el curso en el que se imparte la materia como la denominación de la asignatura depende de cada Escuela. Los nombres que utilizan las universidades para designar la asignatura objeto de la investigación son: Ingeniería de Procesos de Fabricación, Tecnología Mecánica, Metrología, Calidad y Procesos de Fabricación, Tecnologías de la Fabricación, Ingeniería de Fabricación, Procesos de Fabricación, Sistemas de Fabricación, Tecnologías de Fabricación, Fundamentos de Fabricación y Producción, Tecnología de Materiales, Procesos de Fabricación, Tecnología de Producción y Fabricación, Sistemas de Producción y Fabricación, Fundamentos de Sistemas y Tecnologías de Fabricación, Procesos Industriales, Sistemas y Procesos de Fabricación, Procesos de Conformación. Para simplificar y unificar, se utiliza la denominación de ingeniería de fabricación en este documento para referirnos a dichas asignaturas. En el ANEXO 2 se incluyen tablas en las que se puede consultar las diferentes

denominaciones. Además se aporta información sobre las universidades y los centros que imparten la asignatura objeto de estudio, así como detalles sobre el curso en el que se ofrece, la duración, la obligatoriedad, o los créditos asignados.

La comprobación de los planes de estudio se realiza consultando la página web de cada Escuela aunque la utilización del correo electrónico o del teléfono ha sido también necesaria en casos excepcionales.

6.1.3. Selección de expertos

Tras la comprobación de los planes de estudio, se elabora una lista de personal docente relacionado con la formación universitaria en fabricación, para invitarles a que respondan a un sondeo. El contacto con los profesores se establece mediante correo electrónico. La dirección de correo de los profesores se obtiene de las páginas web publicadas por las universidades.

Los profesores a los que se pretende enviar la consulta imparten clase en distintas Escuelas repartidas en el territorio nacional. Se comprueba también que la mayoría de los centros que imparten el Grado en Ingeniería Mecánica están involucrados en la consulta y por tanto se induce que si la respuesta a la encuesta es mayoritaria se puede asumir que el resultado refleja una perspectiva global de la situación en España.

Finalmente se envía la consulta en forma de encuesta a 57 profesores universitarios relacionados y comprometidos con la formación en fabricación. Estos 57 profesores suponen el 70% de un total de 81 posibles participantes. La selección de destinatarios se realiza teniendo en cuenta la vinculación de los mismos en el área de fabricación y cuidando de que la distribución de los participantes resulte homogénea geográficamente.

6.1.4. Diseño del cuestionario

En paralelo con la comprobación de los planes de estudio, se diseña un cuestionario con las preguntas clave objeto de la investigación. La encuesta se desarrolla a partir del esquema de flujo de la Figura 16.

La intención de la encuesta es obtener información sobre la situación real de la enseñanza en conocimientos sobre AM a los futuros ingenieros mecánicos, dado que esta es la titulación en la que históricamente se imparten conocimientos sobre tecnologías de fabricación, materiales y métodos de producción, es decir, muy relacionada con el mundo de la industria.

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

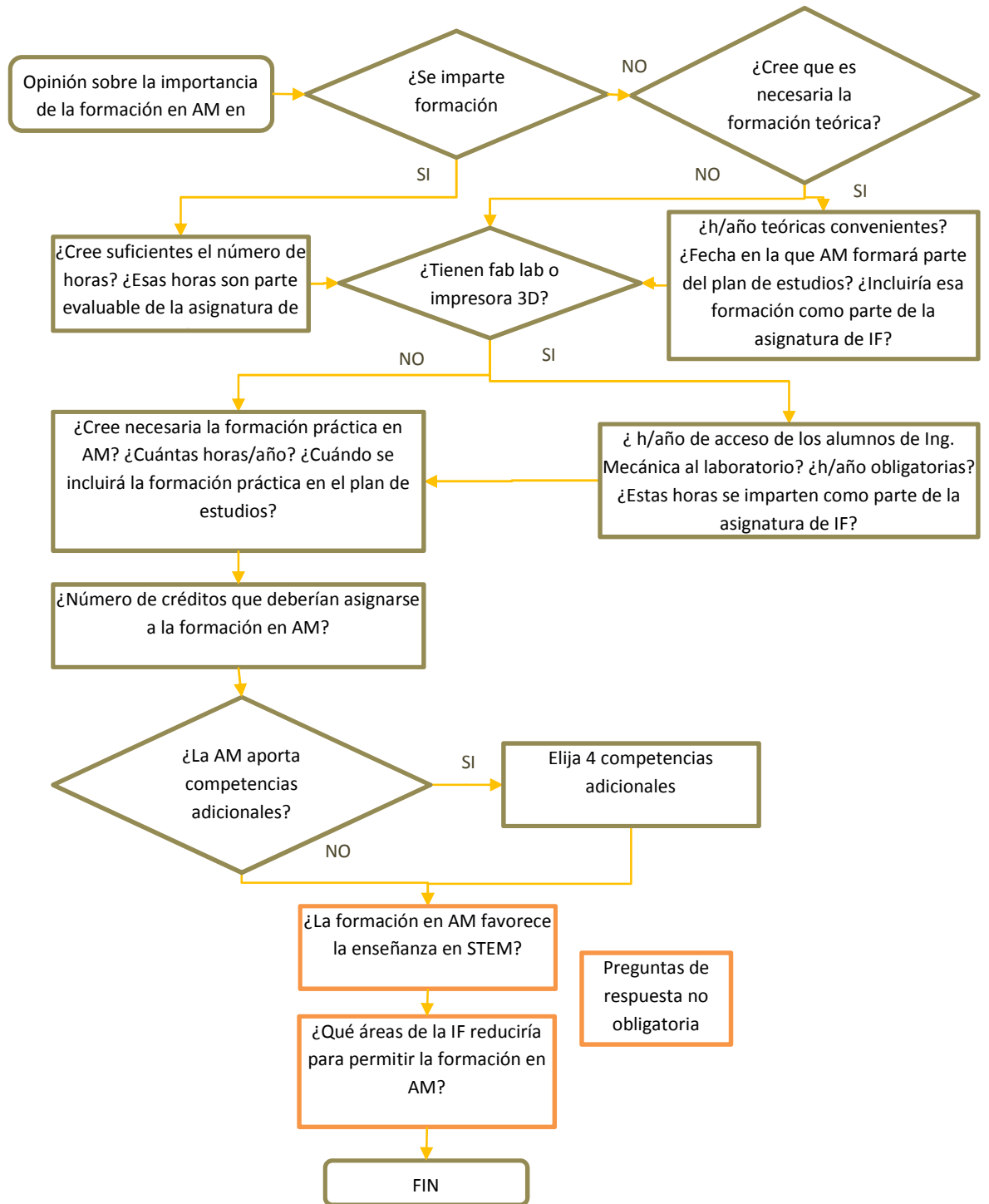


Figura 16. Esquema de flujo de preguntas del formulario.

La exploración contiene dos tipos de preguntas, unas declarativas que nos ofrecen datos sobre la situación actual de la formación y otras prospectivas que proporcionan información sobre lo que los profesores auguran será el futuro de la enseñanza en AM y las ventajas que tiene, siempre según su criterio, la incorporación de esta enseñanza en la formación de los estudiantes.

Para conseguir esta información se pregunta a los profesores sobre la realidad de la enseñanza, independientemente del plan de estudios. ¿Se imparte formación teórica en su Escuela? Si es así, queremos saber cuántas horas, si consideran que esas horas son suficientes, si creen necesaria la formación teórica y si esas horas se imparten como horas asignadas a la asignatura de ingeniería de fabricación. Del mismo modo se indaga sobre la formación práctica, las horas asignadas tanto voluntarias como obligatorias al laboratorio y si el profesor las considera necesarias. También se solicita respuesta sobre la opinión del profesor en cuanto al periodo que debe pasar antes de que se incluya dicha formación en los planes de estudio, así como sobre los créditos que según su opinión deberían asignarse a la formación en AM.

El diseño de la encuesta se realiza con las condiciones siguientes, siempre con el objetivo ulterior de simplificar, acortar y facilitar la participación en la consulta.

- El diseño ha tenido en cuenta que el tiempo dedicado por cada participante no debe ser superior a 5 minutos, independientemente de los posibles caminos que recorren los expertos en función de las respuestas elegida.
- Las preguntas se formulan de la forma más cerrada posible de modo que sea posible elegir la respuesta con una acción rápida (un simple “click” de ratón). Ver Figura 17 a modo de ejemplo.
- El número de preguntas que encuentra el participante debe ser inferior a 15.
- El número de alternativas que el experto puede elegir es siempre par, para evitar la elección cómoda de una posición intermedia que resulta cómoda pero indefinida.

¿Cuántas horas/año se imparten actualmente en su centro sobre AM a los
alumnos de Ingeniería Mecánica en forma de clase teórica?

- No se imparte formación
- entre 1 y 5 h/año
- entre 5 y 10 h/año
- más de 10 h/año

Figura 17. Ejemplo de formulación de preguntas de la encuesta a profesores.

El sondeo enviado a los profesores ha sido elaborado utilizando la herramienta “formulario” de Google (*Google Forms*)[70] . La doctoranda ha empleado estas condiciones en la confianza de que su aplicación facilita la participación en la consulta.

Las respuestas obtenidas proporcionan la base para exponer la situación actual docente y además facilita información sobre las variaciones que los profesores consideran que deben ocurrir en los programas de estudio de un futuro cercano. Estos datos son imprescindibles para elaborar las conclusiones de nuestra investigación. Los resultados aportan una proyección de los plazos en los que los docentes creen que la formación en estas tecnologías será oficial (estará reglada) y cuanto peso debería tener según su criterio en la asignatura de ingeniería de fabricación.

Tras la comprobación de los planes de estudio, se ha elaborado una lista de personal docente relacionados con la formación universitaria en fabricación, para invitarles a que respondan a un sondeo. El contacto con los profesores se ha establecido mediante correo electrónico, cuya dirección ha sido recabada de las páginas web publicadas por las universidades. Se ha comprobado también que los profesores destinatarios de la consulta trabajan en la mayoría de los centros que imparten el Grado en Ingeniería Mecánica y por tanto, si la respuesta a la encuesta es mayoritaria, se puede asumir que el resultado refleja una perspectiva global de la situación en España. Las preguntas de la encuesta se relacionan en el ANEXO 1.

Como se ha mencionado, se envía el escrutinio a 57 potenciales participantes.

6.2. Cronología de la encuesta

La encuesta se envía el 21 de noviembre de 2018 a través de un mensaje de correo electrónico a las direcciones de correo electrónico de los profesores. El correo se remite de forma que cada destinatario sólo puede ver la dirección de correo electrónico del organizador de la encuesta, pero no la del resto de participantes. Por tanto cada profesor decide o no participar si n conocer a cuantos profesores se le ha enviado la encuesta ni cuantos deciden participar en la misma.

El texto que reciben los expertos seleccionados es:

ASUNTO: Fabricación Aditiva (AM) en el Grado en Ingeniería Mecánica. Estado actual y visión de las universidades españolas.

Estimado profesor Pérez:

Usted está colaborando en una investigación sobre los planes de estudio impartidos en la actualidad y las tendencias futuras de la formación universitaria en Fabricación Aditiva en el Grado en Ingeniería Mecánica.

Este trabajo está siendo dirigido por los profesores Miquel Àngel Sebastià (UNED) y Emilio Gómez (UPM). Se trata de un trabajo de investigación universitaria, por lo que las respuestas obtenidas no se utilizarán para fines comerciales u otros fines distintos al de la publicación científica.

Sus respuestas serán incorporadas a una base de datos junto con las facilitadas por los demás expertos consultados. Sus respuestas individuales y las obtenidas del conjunto de participantes se remitirán a la dirección de correo electrónico que nos proporcione, de esta manera podrá comparar sus propias respuestas con las de la muestra si lo considera de interés.

*El tiempo para responder la encuesta es **inferior a 5 minutos**.*

*El plazo para responder se extiende **hasta el 5 de diciembre de 2018**.*

Para acceder a la encuesta por favor, pinche sobre el vínculo adjunto:

<https://goo.gl/forms/5luoRTPBsJ06rAzE2>

Gracias por su dedicación y por su tiempo.

M. Puerto Pérez-Pérez

mperez5467@alumno.uned.es

puertope@gmail.com

Estudiante de Doctorado UNED (Tecnologías industriales)

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

La encuesta se abre al activar el hipervínculo directamente con un “click” de ratón. La estética de la encuesta puede verse en la Figura 18.

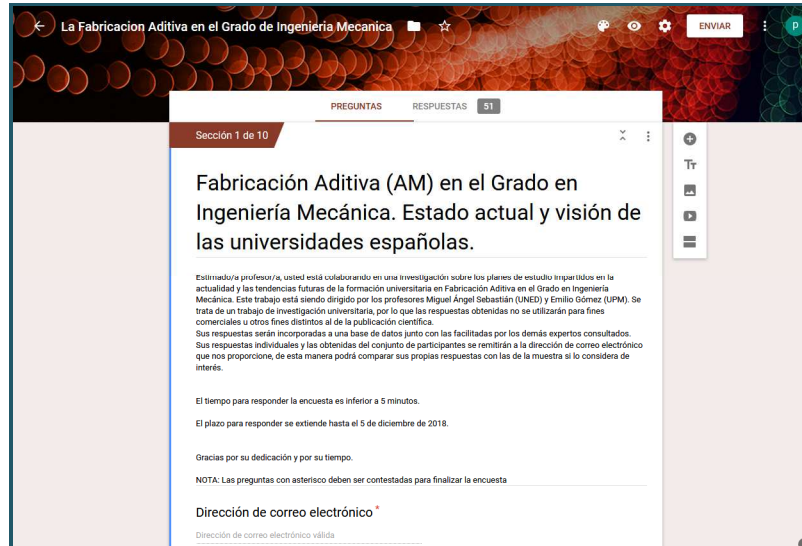


Figura 18. Imagen de inicio de encuesta enviada a profesores.

El 5 de diciembre de 2018 se envía un recordatorio a los profesores de los que todavía no se ha obtenido respuesta. El mensaje se personaliza tanto en el asunto como en el encabezado, nombrando respectivamente la universidad del remitente y su apellido. Para estos profesores que no han contestado, se amplía el plazo hasta el 11 de diciembre de 2018. El mensaje enviado es:

Investigación académica UNED-UPM sobre Fabricación Aditiva en planes de estudio, participación de Universidad de *Nombre de la universidad del Profesor* “*Apellido del profesor*”

Estimado profesor “*Apellido del profesor* :

Le agradeceríamos que colaborara en nuestra investigación sobre los planes de estudio impartidos en la actualidad y las tendencias futuras de la formación universitaria en Fabricación Aditiva en el Grado en Ingeniería Mecánica.

Este trabajo está siendo dirigido por los profesores Miguel Ángel Sebastián (UNED) y Emilio Gómez (UPM). Se trata de un trabajo de investigación universitaria, por lo que las respuestas obtenidas no se utilizarán para fines comerciales u otros fines distintos al de la publicación científica.

Sus respuestas serán incorporadas a una base de datos junto con las facilitadas por los demás expertos consultados. Sus contestaciones individuales y las obtenidas del conjunto de participantes se remitirán a la dirección de correo electrónico que nos

proporcione, de esta manera podrá comparar sus propias respuestas con las de la muestra si lo considera de interés.

El tiempo para responder la encuesta es **inferior a 5 minutos**.

El plazo para responder se extiende **hasta el 11 de diciembre de 2018**.

Para acceder a la encuesta por favor, pinche sobre el vínculo adjunto:

<https://goo.gl/forms/5luoRTPBsJ06rAzE2>

Muchas gracias por su dedicación y por su tiempo.

M. Puerto Pérez-Pérez

mperez5467@alumno.uned.es

puertope@gmail.com

Estudiante de Doctorado UNED (Tecnologías industriales)

El 12 de diciembre se activa el cierre de la encuesta, de manera que los profesores invitados ya no pueden acceder a la misma para responder. La pantalla activa desde ese momento se presenta en la Figura 19.



Figura 19. Vista de la portada de la encuesta una vez cerrada.

Así se cierra el proceso de obtención de datos de la enseñanza de la Fabricación Aditiva en el Grado de Ingeniería Mecánica en España en la actualidad a través de las respuestas de los profesores, de la importancia que dichos profesores dan a este tipo de formación y de cómo creen que debería evolucionar.

7. RESULTADOS

Una vez expuesto el modo en que se han diseñado las consultas y de cómo se ha gestionado la comunicación con los expertos en la materia, se presentan los resultados de ambas investigaciones y se incluye información sobre los participantes en la misma.

7.1. Resultados de la prospección Delphi sobre la Fabricación Aditiva en 2030

Los resultados obtenidos de la prospección Delphi realizada en 2018 a 175 expertos en materia de fabricación, se exponen en los siguientes tres sub-apartados. Se incluyen además comentarios y preguntas que suscitan los mencionados resultados.

7.1.1. Población de la consulta y efecto consenso

El resultado de la participación de los expertos, clasificados según su ubicación geográfica (por Comunidades Autónomas) se muestra en la Tabla 17 y gráficamente en la Figura 20, con la reserva adecuada, dado que las universidades de implantación nacional como la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia) se han concentrado en Madrid.

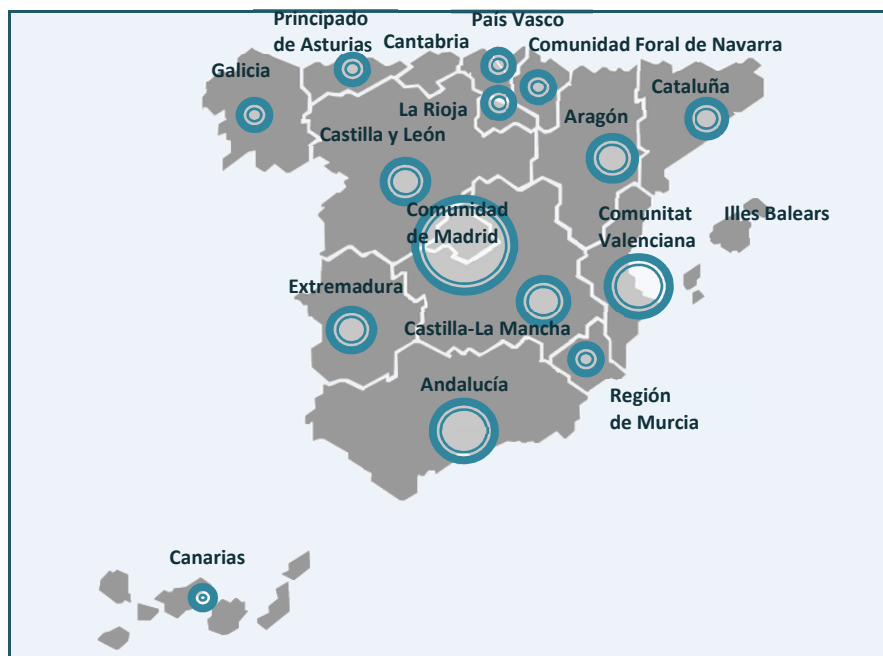


Figura 20. Participación de los expertos en las dos rondas de la prospección Delphi, visión grafica según el origen de sus centros o universidades con denominación de las Comunidades Autónomas de España.

De los 175 invitados a colaborar en la investigación, 133 decidieron participar. La primera consulta tiene pues un nivel de participación del 76%. En el segundo escrutinio se obtuvieron 104 respuestas (un 78% de los 133 consultados). Todos ellos representan a 31 universidades y centros de investigación de 15 comunidades autónomas diferentes.

El 21% de los 104 colaboradores que eligieron finalmente completar las dos rondas del estudio son mujeres.

Tabla 17: Participantes en la prospección Delphi en las dos rondas por origen geográfico. % respecto el total de cada consulta.

Origen del centro (Comunidad Autónoma)	Participantes de la 1ª ronda	% respecto total	Participantes de la 2ª ronda	% respecto total
Andalucía	21	16%	16	15%
Aragón	12	9%	7	7%
Canarias	1	1%	1	1%
Castilla y León	10	8%	5	5%
Castilla-La Mancha	6	5%	6	6%
Cataluña	5	4%	4	4%
Comunidad Foral de Navarra	2	2%	2	2%
Comunitat Valenciana	10	8%	10	10%
Extremadura	7	5%	3	3%
Galicia	2	2%	2	2%
La Rioja	4	3%	3	3%
Madrid	39	29%	36	35%
País Vasco	3	2%	3	3%
Principado de Asturias	7	5%	3	3%
Región de Murcia	3	2%	3	3%
Fuera de España	1	1%		
TOTAL	133	100%	104	100%

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Los participantes en la prospección trabajan en las siguientes Universidades y Centros: CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), Ecole Centrale de Nantes, Escuela Politécnica Superior de Mondragón, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Cádiz, Universidad de Castilla-La Mancha, Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Extremadura, Universidad de Girona, Universidad de Jaén, Universidad Jaume I, Universidad de León, Universidad Las Palmas de Gran Canarias, Universidad de Málaga, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Universidad de Oviedo, Universidad de País Vasco, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Cartagena, Universidad Pontificia Comillas, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Politécnica de Navarra, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Salamanca, Universidad de Valladolid, Universidad de Vigo y Universidad de Zaragoza.

La aplicación de la metodología Delphi provoca un efecto de consenso a partir de la segunda iteración. El efecto de consenso o de concentración en las respuestas alcanzado entre la 1ª y 2ª rondas de consulta se mide en la reducción de la desviación típica obtenida de cada una de las respuestas. La Figura 21, la Tabla 18 y la

Tabla 19 ilustran este efecto para el primer y segundo bloque de preguntas.

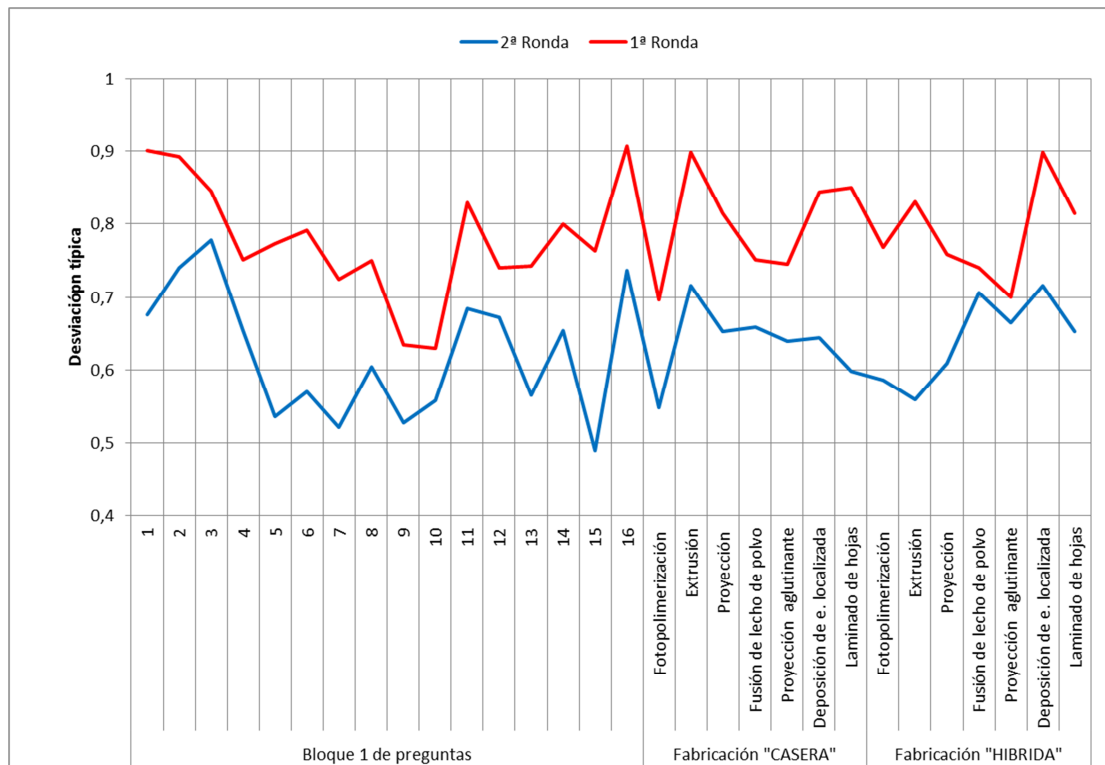


Figura 21. Desviación típica de las respuestas de la 1ª y 2ª rondas de consulta.

Este efecto se produce en la segunda iteración debido a que los participantes responden a la segunda ronda de preguntas con el conocimiento de lo que el grupo, como un todo, ha respondido en la primera iteración. Cada participante decide si la respuesta del grupo le influye o no en su segunda iteración (o su 2ª ronda de respuestas). Se aprecia en el gráfico como, dependiendo de la cuestión planteada, el consenso se ve modificado en mayor o menor grado.

Tabla 18. Desviación típica en número de respuestas Bloque 1 de preguntas (%).

Desviación Típica en número de respuestas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Ronda	0,90	0,89	0,84	0,75	0,77	0,79	0,72	0,75	0,63	0,63	0,83	0,74	0,74	0,80	0,76	0,91
2ª Ronda	0,68	0,74	0,78	0,65	0,54	0,57	0,52	0,60	0,53	0,56	0,68	0,67	0,57	0,65	0,49	0,74
Diferencia	0,23	0,15	0,07	0,10	0,24	0,22	0,20	0,15	0,11	0,07	0,15	0,07	0,18	0,14	0,27	0,17

Tabla 19. Desviación típica en número de respuestas Bloque 2 de preguntas (%).

Desviación Típica en número de respuestas	Fabricación "CASERA"							Fabricación "HIBRIDA"						
	Fotopolimerización	Extrusión	Proyección	Fusión de lecho de polvo	Proyección aglutinante	Deposición de e. localizada	Laminado de hojas	Fotopolimerización	Extrusión	Proyección	Fusión de lecho de polvo	Proyección aglutinante	Deposición de e. localizada	Laminado de hojas
1ª Ronda	0,70	0,90	0,81	0,75	0,74	0,84	0,85	0,77	0,83	0,76	0,74	0,70	0,90	0,81
2ª Ronda	0,55	0,72	0,65	0,66	0,64	0,64	0,60	0,59	0,56	0,61	0,71	0,66	0,72	0,65
Diferencia	0,15	0,18	0,16	0,09	0,11	0,20	0,25	0,18	0,27	0,15	0,03	0,04	0,18	0,16

7.1.2. Resultados del Bloque 1

En el primer bloque de preguntas, en 15 de los 16 escenarios planteados se ha obtenido un consenso de las respuestas igual o mayor que el 50%.

Cabe destacar las coincidencias de respuestas superiores al 70%, que indican clara concordancia entre los participantes.

Un 77% opina que la fabricación convencional en torno no se dejará de utilizar en el horizonte considerado (año 2030), tal y como muestra la Figura 22. Con esta pregunta se trataba de averiguar si en ese año, y dada la evolución y el desarrollo de la AM, los expertos consideran que habrá un cambio radical en la forma de fabricar respecto a la manera en la que se realiza en la actualidad, poniendo el proceso de torneado como más representativo. Una respuesta mayoritariamente afirmativa, indicaría la necesidad de cambios drásticos en la formación de los estudiantes, de manera que aquellos que terminaran sus estudios en el 2030 pudieran estar preparados para la radical transformación en la fabricación sugerida por la hipotética respuesta. Puesto que la respuesta ha sido mayoritariamente en desacuerdo, se deduce que los planes de estudio deben seguir incluyendo los métodos de fabricación tradicionales, y que los cambios necesarios ante la evolución de los métodos de fabricación pueden ser secuenciales.

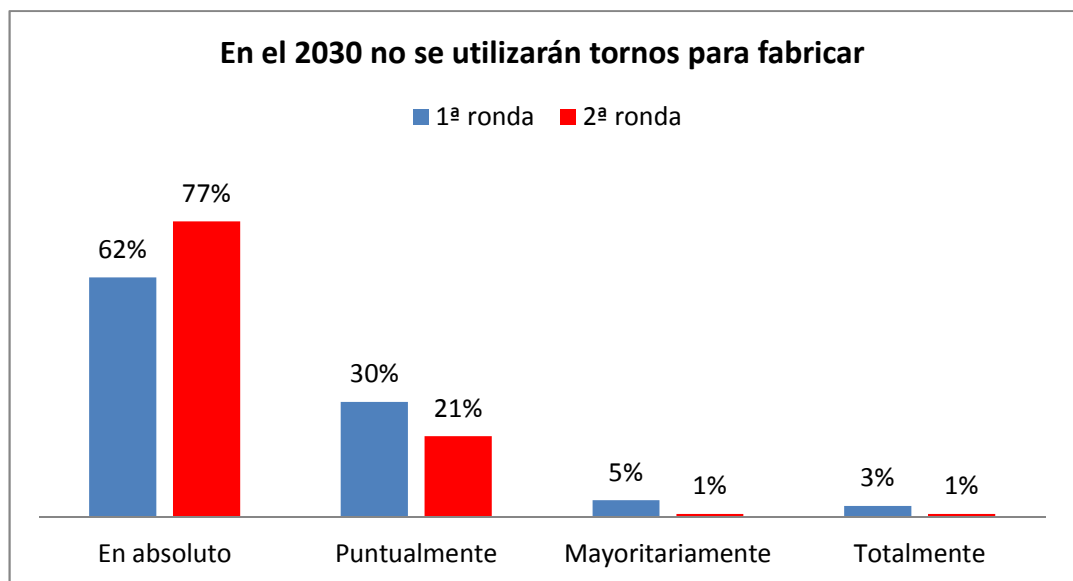


Figura 22. Resultado de la pregunta 7 del Bloque 1.

Es interesante también que únicamente un 7% de los encuestados opinen que más del 50% de la producción se realizará con tecnologías AM en el 2030. Un 94% cree que esta realidad no se dará o que ocurrirá de forma puntual, lo que refuerza la idea de que la Impresión 3D se integrará en la fabricación actual sin interrupciones (salvo quizás en nichos muy localizados como medicina donde aparecen nuevas oportunidades muy ventajosas con la personalización de prótesis y órganos, por ejemplo [167], [168]. El

panorama expuesto es perfectamente compatible con la fabricación de series muy cortas o piezas únicas, quizás personalizadas para el usuario. De hecho, un 63% de los expertos opina que este nicho de piezas personalizadas será propio de las tecnologías de AM, y que la Fabricación Aditiva tendrá la exclusividad de la fabricación. Evidentemente las técnicas de AM pueden ser aplicadas a la fabricación personalizada sin aumento de coste (salvo en la parte de diseño), de tiempo o de esfuerzo, lo que supone una inmensa ventaja diferenciadora.

El 54% de los participantes está totalmente de acuerdo con que “En 2030, más del 50% de los productos se fabricarán en factorías donde la AM se incorpora entre sus procesos de fabricación como un grupo más de tecnologías”, tal y como muestra la Figura 23.

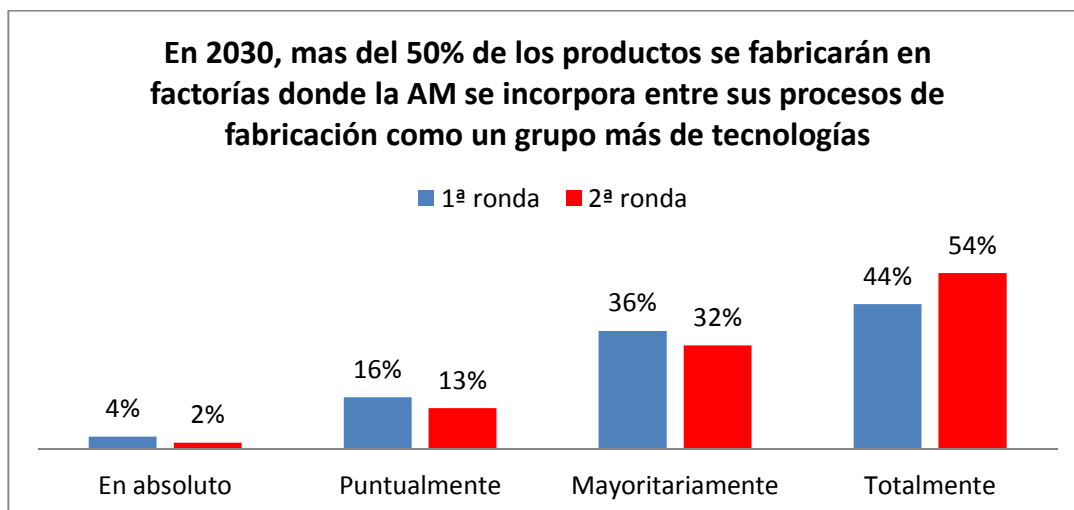


Figura 23. Resultado de la pregunta 3 del Bloque 1.

Las respuestas mencionadas anteriormente indican que el modelo futuro de fábrica integrará la AM como un grupo más de las tecnologías disponibles, utilizándose según la conveniencia o la eficiencia de los procesos que serán combinadas y utilizadas por los responsables de fabricación para producir de la forma más eficiente posible. En este modelo, las tecnologías de AM se emplearán en las fábricas como cualquier otra tecnología actual, de forma integrada.

También es indicativo que un 89% de los expertos creen que la fabricación de piezas en casa será una realidad puntual o mayoritaria en el 2030, pero hay dispersión en la

opinión de que más del 50% de los hogares de los países industrializados poseerán esta tecnología (¿quizás por los requerimientos técnicos necesarios?, ¿por la falta de garantía de las piezas fabricadas?, ¿por la escasa aplicación que vislumbran?, ¿porque de momento su utilización en los hogares es mayoritaria entre los aficionados?). El modelo de comercialización menos probable según nuestros expertos es el de tienda especializada cercana al consumidor, que puede recordar al modelo de los centros de fotocopiado-serigrafía a pie de calle que tanto éxito tuvo en la década de los 90 y en la que el trabajo sería realizado o al menos asesorado por un técnico especialista.

Uno de los grandes retos para que se desarrolle el mercado de fabricación de piezas únicas o personalizadas, es poder emitir una garantía de fabricación de las mismas. ¿Cómo se podrá emitir garantía sobre una pieza cuyo diseño es único? El cambio en el diseño respecto a una pieza normalizada puede afectar a la estética, a la funcionalidad, a las características de la pieza (su resistencia o su conductividad por ejemplo), o a cualquier otro aspecto del producto. ¿Cómo se abordará de manera generalizada este problema? Dar respuesta a esta pregunta resulta clave para que el nicho de fabricación personalizada pueda desarrollarse. Un 76% de los participantes opina de forma mayoritaria que estas preguntas estarán resueltas en el 2030, tal y como ilustra la Figura 24.

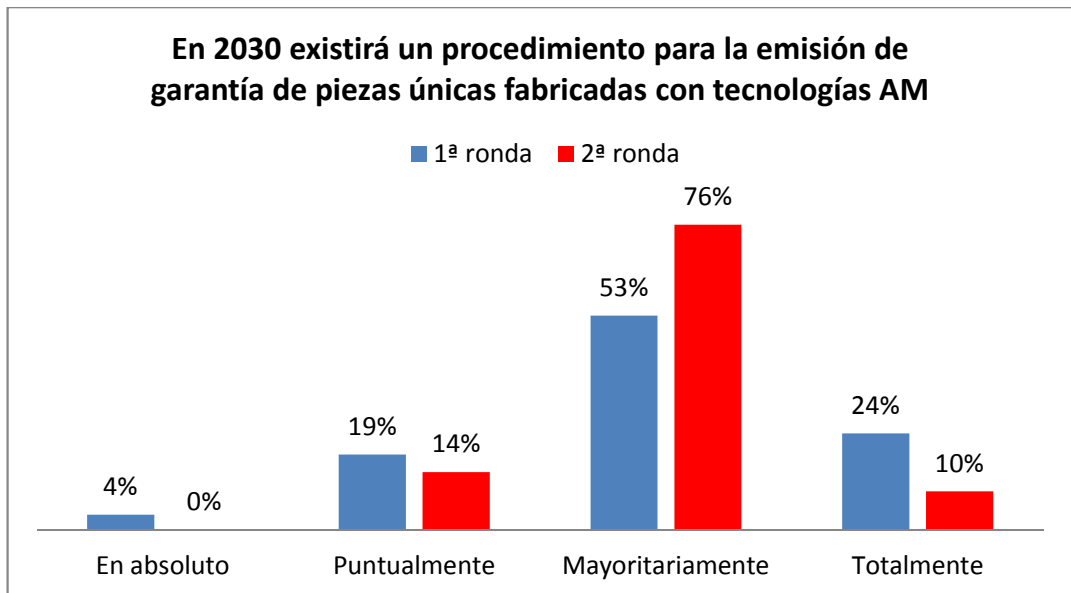


Figura 24. Resultado de la pregunta 15 del Bloque 1.

También, el 71% de los encuestados afirma que en 2030 los procesos y las tecnologías de AM estarán en su mayoría clasificados y normalizados. Para que esto ocurra, el panorama actual ha de aclararse, las tecnologías han de desarrollarse y documentarse, para posteriormente ser normalizadas. La normalización AM está en proceso, en parte por la evolución vertiginosa que se está produciendo en las técnicas, materiales, usos finales y demás características de estas tecnologías. El estado de normalización actual avanza según los trabajos desarrollados por el Comité Técnico de ISO TC 261 [169].

¿Cómo afectará la aplicación de las tecnologías de AM a la sostenibilidad de la fabricación en 2030? ¿Ayudará a la sostenibilidad la fabricación bajo pedido, reduciendo los niveles de materia prima y stocks almacenados, o reduciendo el consumo de carburantes en los transportes porque se fabrique más cerca de los usuarios? O por el contrario ¿la fabricación en pequeños lotes o de piezas únicas hará que las sinergias energéticas de la fabricación en serie se pierdan y que globalmente se consuma más energía? El 78% de las respuestas indican que mayoritaria o totalmente la AM contribuirá a la sostenibilidad en la fabricación. Obviamente, este trabajo no es suficientemente extenso como para ahondar en el tema, pero este es un aspecto muy interesante para posibles investigaciones futuras [170], [171].

Cada una de las tecnologías de AM requiere de una capacitación específica, aunque todas en su conjunto tengan en común la preparación en las técnicas de diseño digital. Si en el 2030 se va a requerir de cualificaciones específicas como considera casi el 90% de los participantes de forma mayoritaria (62%) o totalmente (27%), es necesario que las universidades y centros de formación técnica realicen cambios en sus planes de estudio. Estos cambios deben comenzar lo antes posible para que los técnicos estén preparados en 2030. Por supuesto, definir las modificaciones necesarias en los planes de formación actuales, queda fuera del ámbito de este trabajo, aunque las competencias que serán necesarias en la nueva era digital se sugieren en la última parte del documento.

Un 69% de los expertos opina que la utilización de la AM para la fabricación de herramientas será puntual en contraste con el 58% de ellos que creen que más del 70% de los prototipos se fabricarán con tecnología AM en 2030. Esta resulta ser una diferenciación interesante de la que se puede deducir que la inmediatez de la AM es percibida como una ventaja muy clara para el prototipado, los modelos preliminares, su utilización en el marketing, etc...

En 2030 se habrán desarrollado herramientas y dispositivos de control capaces de monitorizar y vigilar las producciones en tiempo real utilizando técnicas de AM. Un

90% (61%+29%) de los encuestados creen que esto será un hecho de forma mayoritaria o totalmente. Controlar los procesos de forma simultánea a la propia fabricación y no posterior a dicha fabricación es uno de los retos que tiene actualmente la AM para utilizarse como forma de fabricación estándar. Actualmente el control es posible pero se realiza una vez terminada la pieza, lo que obliga a rechazar aquellas que no cumplen especificaciones una vez fabricadas (con la evidente pérdida de recursos). El control en tiempo real tiene la ventaja de aumentar el grado de fabricación acorde a especificaciones. Los expertos consultados creen que esta integración se producirá de forma mayoritaria en 2030, lo que nos indica que la sensorización y el control son campos con amplio desarrollo futuro y en el que la enseñanza puede especializarse.

En cuanto a la cadena de suministro, el 67% de los encuestados opinan que de forma generalizada la distribución de los diseños para la AM se realizará de manera digital, desde una o varias bases de datos. Un 23% de ellos considera que esto será una realidad. Es decir, hay consenso entre los expertos en que los diseños se adquirirán mayoritariamente desde un mercado digital al que los usuarios tendrán acceso. Esto confirma la teoría de algunas publicaciones en las que se afirma que habrá dos mercados: uno de comercialización de diseños digitales y otro de comercialización de fabricación. Algunas de estas teorías opinan que el valor de la producción se digitalizará, como ya ha ocurrido en otros sectores (telefonía e internet), es decir que el “valor” del producto será mayor en la parte digital (la del diseño en este caso) que en la de fabricación física del producto y, por tanto, que el valor del diseño (de la compra digital) será muy superior al de la propia producción física, que acabará siendo un “*utility*”. A raíz de esta cuestión, se plantea la siguiente. Se quería saber si los expertos opinan que ese mencionado mercado digital será de acceso libre (siguiendo la tendencia actual de los modelos colaborativos) o será de pago (monetizando así una parte de la cadena de suministro). La mayoría de los encuestados opina que el mercado de diseños será de pago y que sólo de forma puntual será gratuito (o colaborativo). Las siguientes preguntas aparecen de inmediato ¿Quién controlará este mercado? ¿Las grandes corporaciones fabriles, los fabricantes de tecnología AM o los usuarios que diseñan los modelos? ¿O ninguno de los ellos y serán grandes plataformas digitales, como Google o Amazon, las que sean capaces de llegar a los usuarios?

Para terminar con las consultas sobre la cadena de suministro, el 61% de los encuestados consideran que el sector de la distribución va a sufrir una transformación hacia la deslocalización tal y como confirma el trabajo de J.S. Sray *et al.* [28]. El 55% de

los expertos cree que mayoritariamente “más del 50% de la fabricación estará deslocalizada o distribuida” y un 6% cree que ese escenario será una realidad. Esta pregunta explora los posibles cambios que pueden ocurrir en el sector de la distribución. Una parte importante de los modelos de fabricación masiva y centralizada corresponde a la logística y distribución de los productos. Una producción cercana a los puntos de consumo alteraría los pesos de los distintos segmentos de la cadena de producción. La distribución, ahora clave en el sistema de producción masivo, podrá perder importancia relativa en el futuro, produciendo seguramente una transformación en el mismo para dar servicio al usuario de una forma diferente a la actual.

Los valores numéricos de los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 20 y de forma gráfica en la Figura 25.

Tabla 20. Resultados de preguntas Bloque 1.

Número de pregunta (*) /opción de respuesta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
En absoluto	5%	13%	2%	0%	8%	32%	77%	0%	0%	0%	11%	5%	1%	2%	0%	2%
Puntualmente	37%	47%	13%	9%	69%	62%	21%	11%	2%	10%	50%	35%	12%	10%	14%	20%
Mayoritariamente	53%	37%	32%	34%	23%	7%	1%	61%	35%	67%	38%	55%	71%	62%	76%	52%
Totalmente	6%	4%	54%	58%	0%	0%	1%	29%	63%	23%	2%	6%	16%	27%	10%	26%
Desviación típica de nº respuestas	0,68	0,74	0,78	0,65	0,54	0,57	0,52	0,60	0,53	0,56	0,68	0,67	0,57	0,65	0,49	0,74

(*) El enunciado de las preguntas se puede encontrar en la Tabla 14

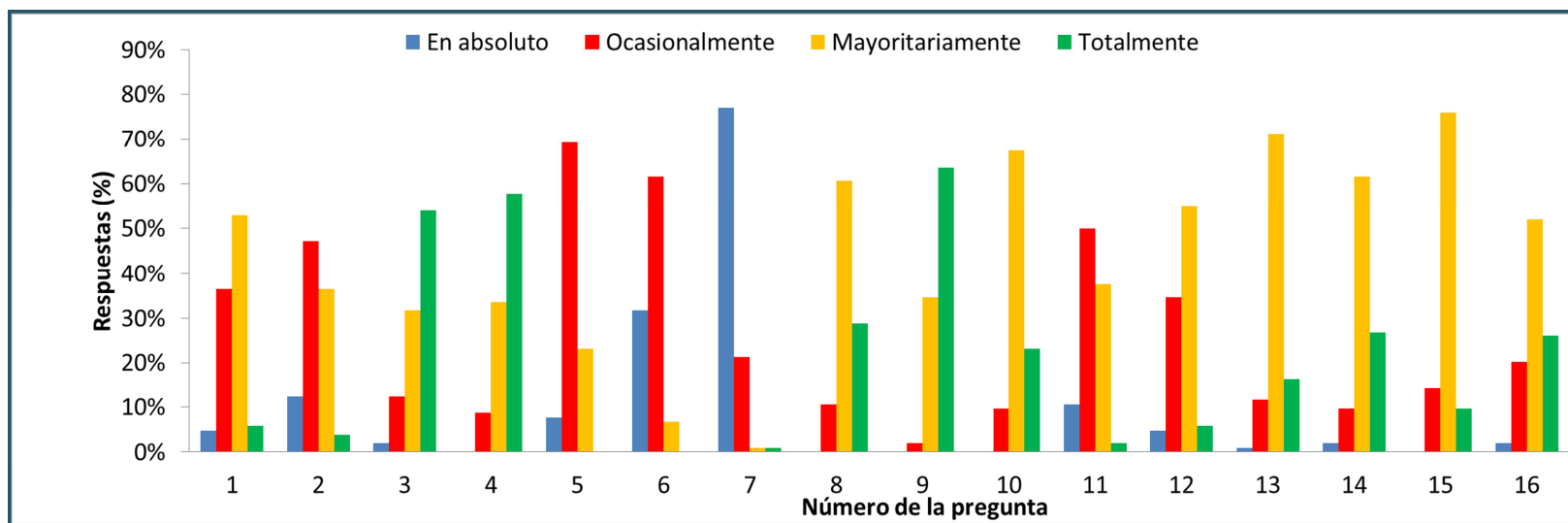


Figura 25. Gráfico de resultados de cuestiones del Bloque 1.

7.1.3. Resultados del Bloque 2

Como ya se ha mencionado, las dos preguntas que componen este bloque tratan de vislumbrar las categorías de procesos (según la clasificación de la Norma UNE-EN ISO 17296-2 [19]) que se aplicarán en cada uno de los dos modelos de fabricación extremos: la fabricación casera y la híbrida (en factorías).

Las “impresoras” basadas en tecnologías AM de “extrusión de material” son las que, según los participantes consultados, tienen mayor probabilidad de implantación en los hogares.

Sin embargo las tecnologías de “proyección de material” y “deposición de energía localizada” (76% entre mayoritaria y totalmente) seguida de las tecnologías de extrusión son las que los expertos creen que se emplearán de forma generalizada en la fabricación híbrida en 2030 (utilizándose como otra tecnología más en las fábricas). Las tecnologías de laminado de hojas y las de fotopolimerización son las que, según los resultados, se utilizarán en menor medida en los centros fabriles.

Los valores numéricos de los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 21 y gráficamente en la Figura 26.

Tabla 21. Resultados de preguntas Bloque 2 (expresados en %). Process categories: 1: Vat Photopolymerization; 2:Material Extrusion; 3:Material Jetting; 4:Powder Bed Fusion; 5:Binder Jetting; 6:Directed Energy Deposition; 7:Sheet Lamination.

Número de pregunta /opción de respuesta	Fabricación "Casera"							Fabricación "Híbrida"						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
En absoluto	14%	2%	18%	17%	13%	22%	20%	11%	1%	3%	5%	5%	2%	18%
Puntualmente	73%	22%	61%	63%	61%	62%	64%	67%	24%	21%	29%	62%	22%	61%
Mayoritariamente	12%	55%	20%	18%	25%	15%	15%	21%	68%	68%	57%	28%	55%	20%
Totalmente	1%	21%	1%	2%	1%	1%	0%	1%	7%	8%	10%	6%	21%	1%
<i>Desviación típica de nº respuestas</i>	<i>0,55</i>	<i>0,72</i>	<i>0,65</i>	<i>0,66</i>	<i>0,64</i>	<i>0,64</i>	<i>0,60</i>	<i>0,59</i>	<i>0,56</i>	<i>0,61</i>	<i>0,71</i>	<i>0,66</i>	<i>0,72</i>	<i>0,65</i>

El enunciado de las preguntas se puede encontrar en la Tabla 15

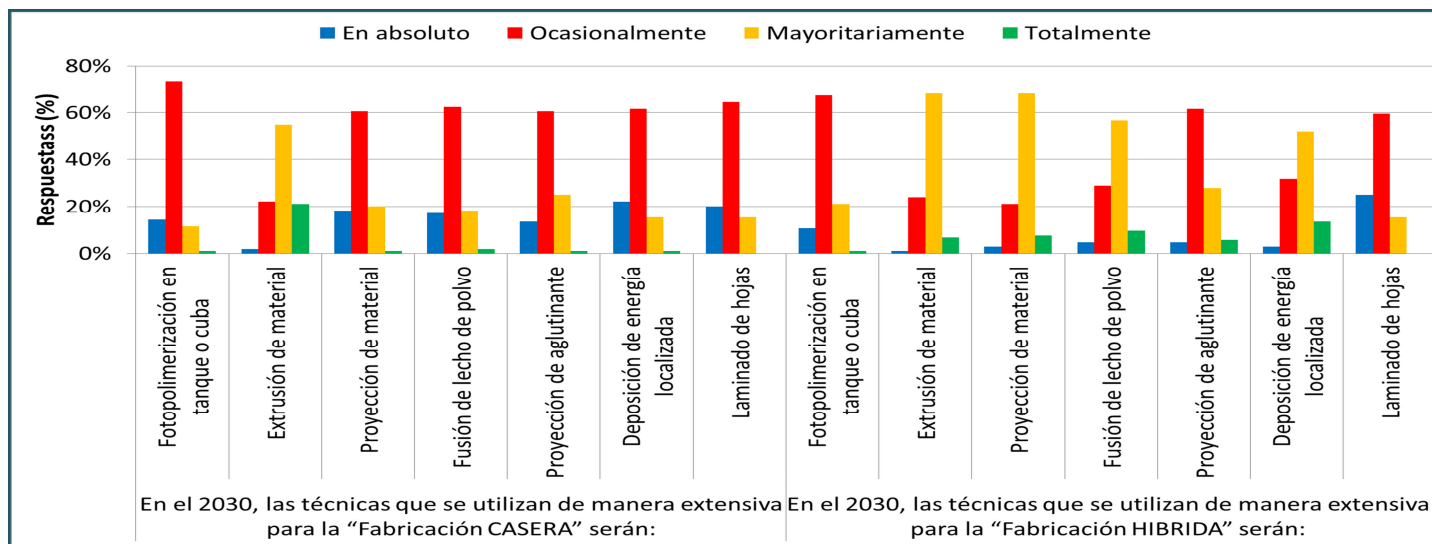


Figura 26. Gráfico de resultados de cuestiones del Bloque 2.

7.1.4. Resultados del Bloque 3

En este conjunto de preguntas se pretende consultar la opinión sobre las tecnologías que despuntarán en el 2030, y descubrir cuáles son las tres fortalezas de la AM y los tres retos más importantes pendientes de resolver.

Las tecnologías que prevalecerán en el mercado sobre las demás en el 2030 según los especialistas son: Fabricación con filamento fundido (FDM), Sinterizado láser selectivo (SLS) y Fusión selectiva con láser (SLM), tal y como se muestran la Tabla 22 y Figura 27.

Tabla 22. Resultados sobre tecnologías. Bloque 3.

Estereolitografía (SLA)	6%
Fabricación con Filamento Fundido (FDM)	29%
Sinterizado Láser Selectivo (SLS)	25%
Fusión Selectiva con Laser (SLM)	25%
Deposición directa de Metal (DMD)	12%
Fabricación por Laminación (LOM)	2%
Otras	1%

El enunciado de las preguntas se puede encontrar en la Tabla 16

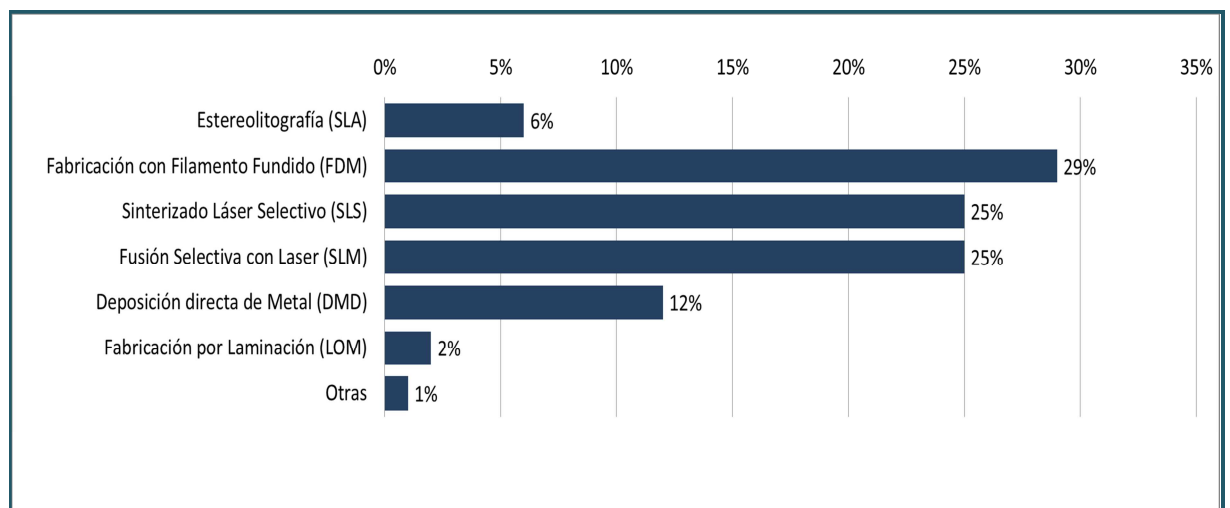


Figura 27. Gráfico de resultados Bloque 3: tecnologías.

Los resultados indican que los factores más relevantes que pesarán sobre el desarrollo de la AM están relacionados con el producto en sí y con los factores fabriles y de mercado, tal y como muestra la Tabla 23 y la Figura 28.

La libertad de diseño aporta la posibilidad de fabricar productos con geometrías hasta ahora imposibles. Además, la flexibilidad en los cambios de diseño proporciona la capacidad de crear productos diferentes con la misma base, generando infinitas posibilidades de personalización, adaptación, etc. En segundo lugar, los expertos opinan que poder realizar producciones cortas, o producciones de una única pieza (personalización) es un factor determinante para el despegue de la AM. La fabricación personalizada es una singularidad de las tecnologías de AM que no encarece el proceso, salvo en la parte digital, dado que cada pieza requiere de un diseño propio, que no utilizará ninguna otra pieza. Por último, la reducción de tiempos de desarrollo y de salida a mercado es la tercera característica más votada. Esta cualidad permite la utilización de piezas fabricadas con tecnologías AM para realizar comprobaciones de funcionamiento de un producto en el mercado con un posible ahorro de tiempo y de coste respecto de los procedimientos actuales, lo que supone un gran valor para los desarrolladores y promotores.

Tabla 23. Resultados sobre puntos fuertes de AM. Bloque 3.

Democratización de la fabricación	5%
Libertad de diseño. Flexibilidad en los cambios de diseño.	28%
Reducción de ciclos de desarrollo de producto y de tiempo de salida a mercado	21%
Menor coste de utillaje	5%
Producciones más cortas. Producción personalizada o unitaria	25%
Menor coste de materia prima (menos residuos)	3%
Reducción de costes y tiempos de transporte y distribución	6%
Reducción de stocks: de materia prima y de producto terminado	5%
Aportación a la sostenibilidad medioambiental	2%
Otras	0%

El enunciado de las preguntas se puede encontrar en la Tabla 16

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

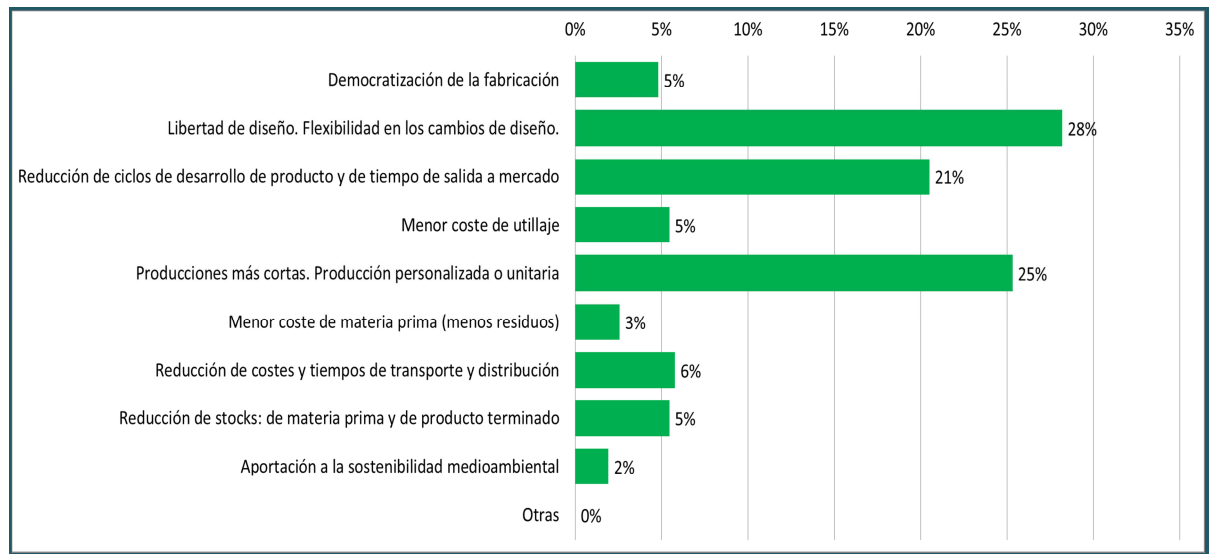


Figura 28. Gráfico de resultados Bloque 3: puntos fuertes de la AM.

La limitación técnica para conseguir las propiedades requeridas en el producto final despunta entre el resto de retos a superar. La anisotropía [172], el control de propiedades físicas (como la resistencia a tracción, el control dimensional o el acabado superficial), de las propiedades químicas, o de otro tipo de propiedades requeridas al producto, son claramente una limitación actual esencial para que las tecnologías de AM puedan ser empleadas más allá de desarrollos puntuales o nichos de mercado muy específicos. Además de la mejora del control de propiedades en el producto, los expertos consideran que actualmente existe una limitación en el proceso de fabricación (limitación de volumen de fabricación, que vienen dado por la máquina que fabrica, de la velocidad de producción o de ambas cosas combinadas). Los últimos desarrollos que los fabricantes de máquinas ofrecen al mercado tratan de resolver la limitación de velocidad colocando varios cabezales que trabajen simultáneamente. Por último, la certificación y garantía del producto terminado es el tercer reto importante más votado por los participantes encuestados, tal y como se muestra en la Tabla 24 y de manera gráfica la Figura 29.

De nada vale fabricar la pieza que se desea, con la especificación requerida y a la velocidad adecuada, si finalmente es imposible certificar lo que se ha producido. La certificación es una de las limitaciones que actualmente encuentran sectores como el aeronáutico [173] donde la aplicación de tecnología AM en fabricación está más avanzada pero las piezas producidas han de ser certificadas para su uso comercial.

Tabla 24. Resultados sobre puntos débiles de AM. Bloque 3.

La limitación técnica para conseguir las propiedades requeridas en el producto final	28%
La certificación de piezas y productos terminados	19%
El cambio en la manera de pensar a la hora de diseñar las piezas	6%
La propiedad industrial, la fiscalidad y la seguridad de los productos fabricados	3%
La necesidad de formación de los operadores de las máquinas de AM	1%
El coste de las materias primas, maquinaria y/o transporte	7%
La limitación de volumen y/o velocidad de fabricación	21%
La necesidad de post-procesados	4%
La integración de la AM en los métodos de fabricación actual	10%
Otras	1%

El enunciado de las preguntas se puede encontrar en la Tabla 16

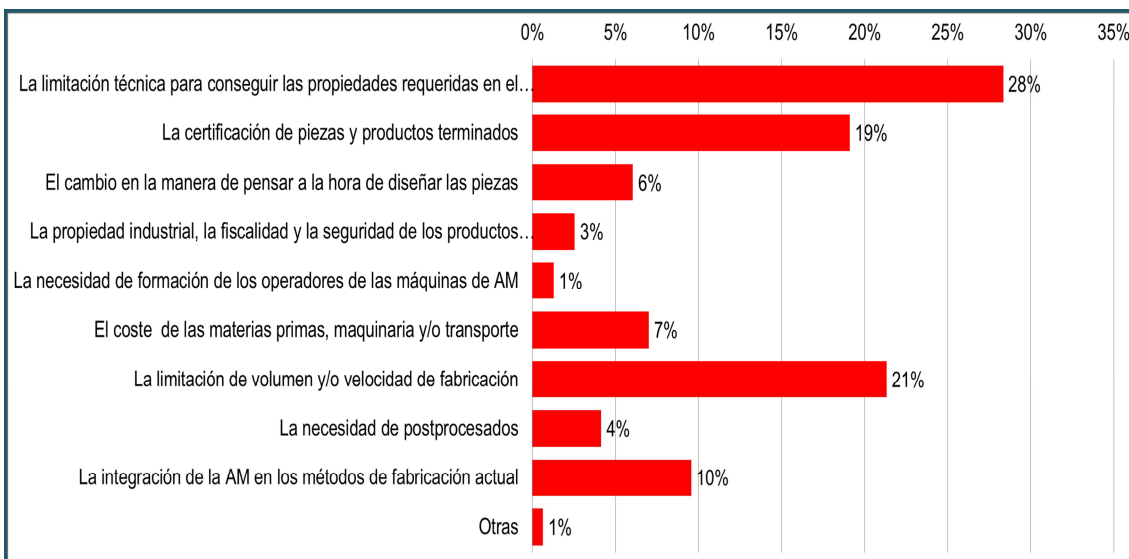


Figura 29. Gráfico de resultados Bloque 3: puntos débiles de la AM.

La dificultad de la certificación de las piezas construidas mediante tecnologías de impresión 3D estriba en que dicha certificación debería asegurar toda la cadena de

suministro [174] de una pieza quizás única, fabricada con diseño modificado al original para alcanzar prestaciones distintas al modelos de partida. Las propiedades físico-químicas de la pieza construida podrían ser sensiblemente diferentes de aquellas del diseño de origen puesto que las técnicas de AM permiten la utilización de distintos materiales aportados en capas de diferente grosor y mediante diversas tecnologías. Propiedades como las mecánicas, peso, resistencia, dureza, color, robustez, fractura, flexibilidad, terminación superficial, porosidad, conducción eléctrica, propiedades electromagnéticas, etc. pueden ser alteradas o modificadas. Esta flexibilidad de la fabricación, que puede ser una ventaja en sí, hace que la estandarización sea prácticamente imposible actualmente y supone un gran reto en cuanto a la certificación de productos.

Resulta interesante comprobar que únicamente un 3% de las respuestas hayan seleccionado la propiedad industrial, la fiscalidad y la seguridad de los productos fabricados como uno de los retos importantes. La propiedad industrial de los productos fabricados con tecnologías 3D aún no está resuelta aunque ya exista el sub-aparato B33Y en la clasificación general de patentes (CIP) específico de Fabricación Aditiva [175]. Si alguna de las características del diseño original puede ser modificada para fabricar una pieza diferente ¿Cómo se va a definir y a asegurar la propiedad industrial? ¿Cómo se puede controlar la piratería? La respuesta a esta pregunta está directamente relacionada con la fiscalidad asociada a la propiedad intelectual e industrial y por tanto con la seguridad de los productos.

7.2. Resultados de la investigación sobre la formación en ingeniería mecánica

7.2.1. Población de la consulta

La Tabla 25 presenta el reparto geográfico de los expertos preseleccionados para participar en la encuesta, así como los que han sido consultados y los que finalmente participaron en la investigación, clasificados por Comunidad Autónoma tanto en valor numérico como en porcentaje.

Un 96% de los profesores consultados decidieron contribuir en la investigación. Este nivel tan elevado de participación es indicativo del interés que suscita el tema entre los docentes universitarios españoles.

Tabla 25. Reparto geográfico de los expertos identificados, contactados, y los que han participado.

Comunidad Autónoma	Profesores pre-seleccionados	Profesores consultados	% consultados resp. Identificados	Profesores que han participado	% participantes por Com. Autónomas	% participantes resp. Total Consultados
Andalucía	12	7	58%	6	13%	11%
Aragón	3	3	100%	3	6%	5%
Canarias	2	1	50%	1	2%	2%
Castilla y León	8	6	75%	6	13%	11%
Castilla-La Mancha	3	2	67%	2	4%	4%
Cataluña	11	5	45%	4	9%	7%
Comunidad de Madrid	13	11	85%	8	17%	14%
Comunidad Foral de Navarra	2	2	100%	2	4%	4%
Comunitat Valenciana	10	8	80%	5	11%	9%
Extremadura	1	1	100%	1	2%	2%
Galicia	4	2	50%	2	4%	4%
La Rioja	1	1	100%	1	2%	2%
País Vasco	7	4	57%	4	9%	7%
Principado de Asturias	2	2	100%	2	4%	4%
Región de Murcia	2	2	100%	0	0%	0%
TOTAL	81	57	70%	47	100%	82%

La Figura 30 muestra de manera gráfica la distribución geográfica de los participantes.

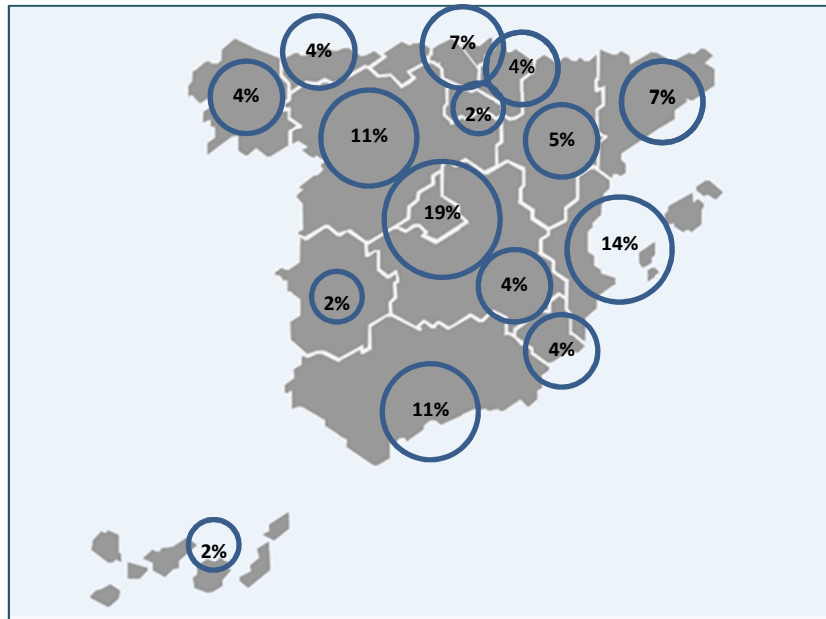


Figura 30. Mapa de distribución de los expertos que han participado en porcentaje respecto el total de participantes.

7.2.1. Respuestas a la consulta

Formación teórica

La primera pregunta del cuestionario trata de evaluar la importancia que tiene la formación en Fabricación Aditiva para los profesores. Se trata de una pregunta general, sin matizaciones, que enmarca el tema. Sin embargo, el 98% de los profesores que han participado en la encuesta cree la formación en AM para los ingenieros será necesaria (32%) o imprescindible (66%), tal y como ilustra la Tabla 26 y la Figura 31.

Tabla 26. Importancia de la AM en formación de los ingenieros mecánicos.

¿Cree que para los futuros ingenieros mecánicos disponer de formación en AM será... ?	
Imprescindible	66%
Necesaria	32%
Indiferente	2%
No adecuado	0%

Por tanto se manifiesta el valor que los profesores de Ingeniería Mecánica en el área de fabricación están dando a estas nuevas tecnologías que se agrupan bajo la denominación de Fabricación Aditiva.

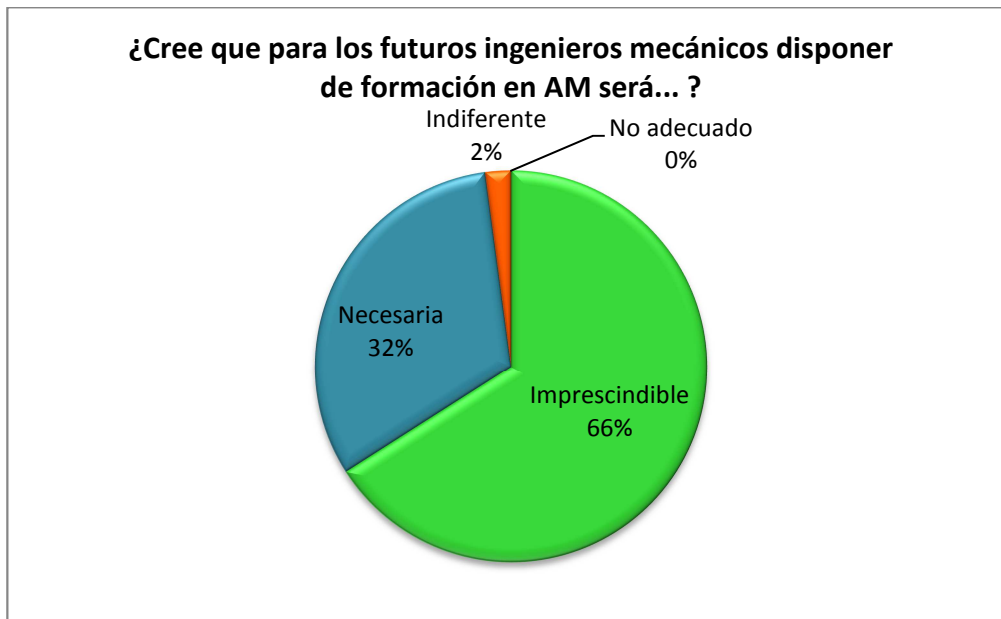


Figura 31. Importancia de la AM en la formación de los ingenieros mecánicos.

En los planes de estudio de Grado en Ingeniería Mecánica publicados por las distintas universidades, la formación en tecnologías de impresión 3D o similares aparece de forma explícita en los siguientes casos: Universidad de Cádiz (Sistemas de fabricación emergentes); Universidad de Deusto (Fabricación aditiva industrial); Universidad de Jaén (Fabricación aditiva); Universidad de Lleida (Prototipaje rápido); Universidad de Navarra (Fabricación aditiva, en la asignatura de Tecnología de Materiales); Universidad Politécnica de Cataluña (en la sede de Barcelona, con dos asignaturas de Fabricación Aditiva); Universidad Pompeu Fabra (Fabricación Aditiva. Fabricación Rápida de Prototipos).

Con estos datos se podría deducir que en general la Fabricación Aditiva no forma parte de las clases teóricas en las Escuelas de ingenieros de España, sin embargo las respuestas de la consulta indican lo contrario. Tal y como refleja la Tabla 27 y la Figura 32, un 85% de los profesores que participan en la investigación confirman que de hecho se imparte formación. El 64% de los participantes ofrecen una formación teórica

mínima (entre 1 y 5 horas al año), el 13% dedica ente 5 y 10 horas al año y un 9% ofrece más de 10 horas anuales. Se puede concluir que los planes de estudio no se han modificado de manera formal (oficialmente) pero la formación se está impartiendo, aunque quizás no en la medida o con la extensión en la que los profesores recomiendan.

Tabla 27. Horas/año de clase teórica en AM.

¿Cuántas horas/año se imparten actualmente en su centro sobre AM a los alumnos de Ingeniería Mecánica en forma de <u>clase teórica</u>?	
Entre 1 y 5 h/año	64%
Entre 5 y 10 h/año	13%
Más de 10 h/año	9%
No se imparte formación	15% (86% la considera necesaria; 14% no la considera necesaria)

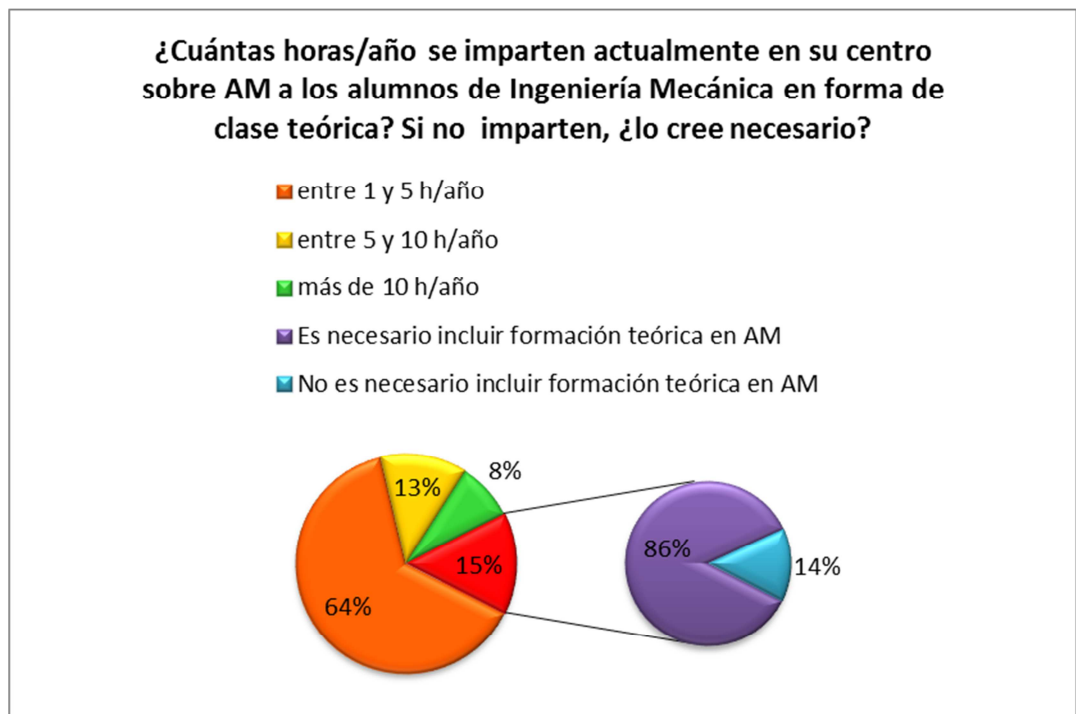


Figura 32. Horas/año de clase teórica en AM.

Imparten formación teórica

El 85% de los participantes que imparten formación teórica (un 72% del total de respuestas) cree que el número de horas de docencia teórica no es suficiente (Tabla 28), por lo que se deduce que los profesores desearían aumentar la carga en esta materia.

La formación en tecnología de Fabricación Aditiva se imparte de forma generalizada en el seno de la asignatura de ingeniería de fabricación según indican las respuestas reflejadas en la Tabla 29.

Tabla 28. Suficiencia de horas en formación teórica.

¿Cree usted que este número de horas es suficiente?	
SI	15%
NO	85%

El 78% de los profesores que imparten formación teórica en sus Escuelas así lo confirman (un 66% del total) y la totalidad de los que actualmente no dan formación en Impresión 3D incluirían dicha formación como parte de una asignatura como la de ingeniería de fabricación. Se puede concluir que nuestra hipótesis de partida en la investigación sobre la elección del tipo de Grado y de la asignatura a explorar es correcta.

Tabla 29. Inclusión de la formación en AM dentro de ingeniería de fabricación.

¿Esta materia se imparte como parte evaluable de una asignatura más general, como Ingeniería de Fabricación, Tecnologías de Fabricación, Procesos de Fabricación o equivalente?	
SI	78%
NO	23%

No imparten formación teórica

Sólo 7 de los 47 profesores que decidieron participar en la investigación (un 15%) admiten que no se imparte formación teórica en su Escuela a los alumnos de Ingeniería Mecánica. Un 86% de esos profesores cree necesario que los alumnos reciban algún tipo de enseñanza teórica en tecnologías de Fabricación Aditiva y solamente uno considera que dicha formación teórica no es necesaria (Tabla 30).

Tabla 30: (No imparten formación teórica). Necesidad de la formación teórica

No imparte formación teórica en su centro pero ¿Cree usted que es necesario que se incluya formación teórica sobre la AM en su centro?		
SI	86%	6
NO	14%	1

El 50% de los profesores que admiten que no se imparten clases teóricas en sus centros pero que las consideran necesarias, cree que deberían asignarse más de 15 horas anuales a esta formación teórica, tal y como se muestra en la Tabla 31, consideran además que dicha formación debería forma parte de la asignatura de Ingeniería de Fabricación (o denominaciones semejantes) tal y como se muestra en la Tabla 33. Además todos ellos creen que los planes de estudio incluirán esta formación antes del año 2030 (Tabla 32). De hecho el 33% de ellos opinan que el cambio de planes de estudio ocurrirá antes del 2022.

Tabla 31. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Horas/año convenientes para la formación teórica.

¿Cuántas horas/año cree usted que sería conveniente asignar a la formación teórica en AM?	
Menos de 5h/año	17%
entre 5 y 10 h/año	17%
entre 10 y 15 h/año	17%
más de 15 h/año	50%

Tabla 32. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Periodo en el que se estima que la AM formará parte del plan de estudios.

¿Cuándo cree usted que la AM formará parte del plan de estudios en su centro o en su universidad?	
antes de 2022	33%
entre 2022 y 2030	67%
después de 2030	0%

Tabla 33. (No imparten formación teórica pero la consideran necesaria). Inclusión de la formación en AM dentro de ingeniería de fabricación.

¿Incluiría usted la formación en AM como parte de una asignatura más general, como Ingeniería de Fabricación, Tecnologías de Fabricación, Procesos de Fabricación o equivalente?	
SI	100%
NO	0%

Formación práctica

El 96% de los encuestados confirman que disponen de laboratorio de impresión 3D, FabLab o impresora 3D, tal y como se muestra en la Tabla 34. Estos datos indican que la enseñanza práctica se anticipa a la teórica, o que la formación teórica se vehicula a través de la práctica, en general, mucho más atractiva para los estudiantes.

Tabla 34. % de implantación de la formación práctica en AM.

En su Escuela ¿disponen de una impresora 3D, un laboratorio de Fabricación Aditiva o de un FabLab?	
SI	96%
NO	4%

Imparten formación práctica

La enseñanza práctica se incluye mayoritariamente (un 60% de las respuestas) en la asignatura de ingeniería de fabricación (Tabla 37), aunque como indican las respuestas la exposición de alumnos a esta materia práctica es escasa: el 69% de los profesores

confirman que los alumnos tienen menos de 5 horas de prácticas anuales (Tabla 36) de forma obligatoria, y sólo un 13% asegura que la materia obligatoria de prácticas supera las 15 horas/año. La exposición de los alumnos al laboratorio de manera voluntaria mejora sólo levemente (el 56% de los profesores indican que los alumnos de Ingeniería Mecánica disponen de acceso de menos de 5 horas anuales al laboratorio mientras que el 36% indica que la disponibilidad de las instalaciones supera las 15 horas al año) (Tabla 35).

Tabla 35. Horas/año de exposición a la práctica de la AM (voluntaria o no).

¿Cuántas horas/año (obligatorias o voluntarias) tienen acceso los alumnos de Ingeniería Mecánica al laboratorio?	
< 5 h/año	56%
de 5 a 10 h/año	7%
de 10 a 15 h/año	2%
> 15 h/año	36%

Tabla 36. Horas/año de práctica obligatoria.

¿Cuántas horas/año son obligatorias para los alumnos de Ingeniería Mecánica en el laboratorio?	
< 5 h/año	69%
de 5 a 10 h/año	7%
de 10 a 15 h/año	11%
> 15 h/año	13%

Tabla 37. Marco de la formación práctica en AM.

¿Esta materia se imparte como parte evaluable de una asignatura más general, como Ingeniería de Fabricación, Tecnologías de Fabricación, Procesos de Fabricación o equivalente?	
SI	60%
NO	40%

No imparten formación práctica

Como se ha indicado hay un 4% de profesores que revelan que no se imparte formación práctica de impresión 3D en sus centros, pero todos ellos consideran como necesaria esa formación (Tabla 38) e igualmente todos ellos creen que se debería dedicar más de 5 horas anuales a dicha enseñanza (el 50% de ellos opina que la dedicación debería superar las 15 horas anuales) (Tabla 39). También la opinión es unánime en cuanto que antes del 2030 la formación en Fabricación Aditiva deberá estar incluida en el plan de estudios (Tabla 40).

Tabla 38. (No imparte formación práctica). Necesidad de formación práctica en AM.

¿Cree necesario que se incluya formación práctica sobre la AM en su centro?	
SI	100%
NO	0%

Tabla 39. (No imparte formación práctica). Conveniencia de la exposición a la formación práctica en AM.

¿Cuántas horas/año cree usted que sería conveniente asignar a esta formación práctica?	
< 5 h/año	0%
de 5 a 10 h/año	50%
de 10 a 15 h/año	0%
> 15 h/año	50%

Tabla 40. (No imparte formación práctica). Periodo en el que se estima que la AM formará parte del plan de estudios.

¿Cuándo estima usted que se incluirá formación práctica sobre AM en su plan de estudios?	
antes de 2022	33%
entre 2022 y 2030	67%
después de 2030	0%

Opinión general

El número de créditos ECTS (Sistema Europeo de Transferencia de Créditos o *European Credit Transfer System* en inglés) asignados a una materia, indica el peso que tiene en el Plan de Estudios. La asignación de créditos es el sistema adoptado por todas las universidades del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) para garantizar la homogeneidad y la calidad de los estudios que ofrecen. Los alumnos obtienen los créditos de una asignatura cuando la superan (aprueban el examen correspondiente, demostrando el conocimiento de la materia). Los créditos de una asignatura resultan ser la suma de créditos de las distintas materias impartidas en esa asignatura.

Consultados los profesores sobre el número de créditos que se deberían asignar a la formación en Fabricación Aditiva, un 40% opina que debería ser menos de 2 ECTS anuales, un 28% de los profesores opina que más de 2 ECTS/año y otro 32% opina que los ECTS de una asignatura (Tabla 41). Por el peso que le asignarían, se deduce que los primeros entienden la formación en AM como parte de otra materia que englobe, como por ejemplo ingeniería de fabricación, mientras que los últimos consideran que la impresión 3D tiene o tendrá entidad suficiente como para ser impartida como una asignatura por sí misma. Hay por tanto disparidad de opiniones, repartidas en porcentajes similares entre las opciones de créditos ofrecidas en la encuesta.

Tabla 41. Créditos para la AM.

Según su criterio ¿cuántos créditos se deberían asignar a la posible formación (teórica y práctica) sobre AM?	
Menos de 2	40%
Los de una asignatura	32%
Más de 2	28%
Ninguno	0%

El 91% de los encuestados cree que la formación en AM desarrolla además competencias adicionales a las propias de la formación académica de la materia (Tabla 42), lo que justificaría la rápida expansión de la enseñanza de estas tecnologías en los estudios superiores de ingeniería. Con esta respuesta podemos afirmar que los profesores de fabricación han clasificado la formación en Fabricación Aditiva como no puramente técnica sino también como vehículo para la enseñanza y desarrollo de otras competencias.

Tabla 42. ¿La AM aporta competencias adicionales?.

¿Cree usted que la enseñanza a través de la AM aporta competencias generales, específicas o transversales adicionales?	
SI	91%
NO	9%

Preguntas de respuesta voluntaria

Los profesores que han contestado afirmativamente a la pregunta anterior han elegido las 4 competencias adicionales que la formación en impresión 3D aporta a la enseñanza, según su criterio. Hay que mencionar todos los aspectos que han sido valorados por alguno de los docentes pero destacan entre los demás: Diseño (24%), Materiales (24%), Fabricación (24%) seguida de Aprendizaje por proyectos (15%) y de Orientación al cliente (6%), tal y como se muestra en la Tabla 43. Las tres primeras forman el triángulo de las competencias necesarias en la impresión 3D, pero la posibilidad de fabricar un objeto desde su diseño hasta la terminación proporciona de forma clara capacidades de gestión de proyectos y de orientación al cliente, según el panel de expertos. Además, el “conocimiento de procedimientos experimentales, configuración” y “optimización” se han aportado por alguno de los participantes como otras competencias que aporta la formación en tecnologías de Fabricación Aditiva.

Tabla 43. ¿Qué competencias adicionales aporta la AM?

¿Qué competencias adicionales cree usted que proporciona la AM? Elija las 4 más relevantes para usted	
Diseño	24%
Materiales	24%
Fabricación	24%
Aprendizaje por proyectos	15%
Orientación al cliente	6%
Trabajo en equipo	3%
Trabajo por objetivos	3%
Exposición pública	1%
otra	1%

La cuestión sobre mejora de las competencias en STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) se formula como pregunta voluntaria (Tabla 44). Así, los participantes pueden contestarla o no, sin impedimento para finalizar la encuesta. Un 93% de los profesores que han participado en la encuesta han decidido responder. De ellos el 89% creen que la AM tiene el potencial de mejorar la educación en STEM, lo que refuerza la idea de que las mencionadas ciencias son practicadas de manera interconectada (y a veces inconscientemente) para la puesta en marcha de un proyecto de Fabricación Aditiva. El resultado refuerza el interés de utilización de las tecnologías de impresión 3D como vehículo de educación y como experiencia en la relación teoría práctica, tal y como han publicado diversos autores [8], [36], [37], [43], [47], [48], [91], [102], [104], [107], [115], [116], [176], [177].

Tabla 44. Aportación de la AM en STEM.

¿Cree usted que formar a los estudiantes de ingeniería en materia de AM tiene el potencial de mejorar la educación en STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)?	
SI	89%
NO CONTESTA	6%
NO	4%

Finalmente, se invita a los participantes a elegir qué áreas de la materia actual de ingeniería de fabricación reducirían en tiempo, si fuera necesario, para habilitar las horas necesarias a la formación en impresión 3D, cuyos resultados muestra la Tabla 45.

Las áreas más votadas para ser reducidas son: organización y gestión de sistemas de fabricación (32%), seguido de conformado por moldeo (19%) y conformado por deformación plástica (13%).

Aunque todas las posibles respuestas han sido seleccionadas en mayor o menor medida. Este resultado puede inducir a pensar que la asignatura de ingeniería de fabricación debería ser reformulada para dar cabida a la enseñanza en las nuevas tecnologías como AM de una forma reglada, consensuada y homogénea.

Tabla 45. Áreas de ingeniería de fabricación a reducir para poder incluir la AM.

Si fuera necesario, para hacer posible la formación en AM o aumentar el tiempo actualmente asignado ¿Qué área/s clásica/s de la formación en ingeniería de fabricación reduciría?

Organización y gestión de sistemas de fabricación	32%
Conformado por moldeo	19%
Conformado por deformación plástica	13%
Calidad en fabricación	9%
Conformado por arranque de material	8%
Tecnologías de unión	5%
Procesos de fabricación no convencionales	5%
Automatización de los procesos de fabricación	5%
Metrología dimensional	3%

8. CONCLUSIONES Y POSIBLES LINEAS FUTURAS

8.1. Introducción

Como se ha explicado, la Fabricación Aditiva comprende un conjunto de tecnologías de fabricación con ciertas capacidades diferentes a las utilizadas hasta ahora, de forma que existe gran expectativa sobre sus posibles aplicaciones, expectativa que se refleja en los numerosos proyectos de investigación y en la alta velocidad de progreso, evidente en ciertos sectores de fabricación.

Las organizaciones de normalización ISO y ASTM han cerrado un acuerdo de colaboración para desarrollar y publicar conjuntamente las normas relativas a la AM, lo que igualmente induce a pensar la importancia que la utilización de estas nuevas tecnologías previsiblemente alcanzará en el mundo de la fabricación a nivel internacional. Estas normas han sido traspuestas en su mayoría por AENOR, que ha publicado un conjunto de normas UNE que han sido clasificadas y comparadas en esta tesis. El esfuerzo normalizador de las organizaciones mencionadas es claro y también su compromiso con la publicación de normas relativas a tecnologías, aunque todavía estén en pleno desarrollo.

Las normas hasta ahora publicadas afectan a una parte pequeña del campo a normalizar en la impresión 3D pero crean el sustrato necesario para evitar duplicidades de concepto (terminología), errores de clasificación (clasificación de categorías de procesos) o de ordenación de conceptos.

Después de comparar la profundidad de las asignaturas de fabricación de distintas universidades, se puede concluir que las normas publicadas de AM no pueden ser utilizadas como base para la formación, puesto que no abarcan la extensión ni tienen el grado de detalle requeridos para la educación académica superior. Sin embargo, se recomienda incorporar las normas ya publicadas a la enseñanza, integrarlas en los planes de estudio para ser parte esencial de la materia formativa, dado que su conocimiento y aplicación es imprescindible para que la industria se desarrolle de manera ordenada y los mercados puedan desplegarse de forma fluida.

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, después de la revisión de los planes de estudio de las universidades españolas para comprobar la inclusión de la normalización como materia dentro de la ingeniería de fabricación, únicamente la Universidad de Huelva, la Universidad de La Laguna y la Universidad Nacional de Educación a Distancia disponen de un tema sobre normativa específico.

Se puede concluir que queda trabajo por hacer en las universidades para que los temarios contengan aspectos normativos. Dado que la materia normativa no es sencilla, quizás una enseñanza de forma aplicada pueda ser una alternativa en los centros universitarios. Recapacitar sobre la necesidad de la formación en asuntos normativos a lo largo de la carrera profesional podría ser interesante dado que, como ocurre en el caso de la Fabricación Aditiva, la normalización no es algo estático y nuevas normas son aprobadas o modificadas a lo largo del tiempo.

8.2. La Fabricación Aditiva en 2030

Las conclusiones de la prospección Delphi realizada a más de 100 expertos españoles sobre el futuro de la Fabricación Aditiva se han expuesto ya en el apartado “Resultados” en el que se han mostrado los detalles relativos a cada una de las cuestiones planteadas en la encuesta.

Los datos obtenidos ponen de manifiesto que estas tecnologías no serán las únicas utilizadas en la producción de bienes, según opinan el 94% de los participantes, sino que se integrarán entre los procesos de fabricación existentes y que modificarán distintos aspectos de la manufactura, desde los modelos de negocios y la cadena de distribución hasta el concepto de cliente y proveedor.

El panorama más probable en 2030 según las respuestas de los expertos, plantea que la impresión 3D no será de manera exclusiva la forma generalizada de fabricación (94%) sino que el futuro más probable incluye la integración de la impresión 3D en las factorías (86%), mejorando la sostenibilidad de la manufactura, y también la utilización de estas tecnologías en los hogares (59%). El modelo de fabricación en tienda especializada será de menor implantación generalizada según las respuestas, aunque obviamente, puede que tenga su cuota de mercado.

Las predicciones indican que muchos procesos se habrán desarrollado y clasificado, y que habrá un procedimiento para la emisión de garantías de piezas personalizadas (86%). Este valor obtenido induce la importancia de los campos de certificación y normalización en la Fabricación Aditiva, campos que actualmente tienen una gran trayectoria de desarrollo y que serán esenciales en el futuro.

La impresión 3D tendrá prácticamente la exclusividad en la fabricación personalizada, estará desarrollada mayoritariamente en el mercado de prototipos (92%) y de forma puntual en el de herramientas (69%). Sin embargo las respuestas son variadas en

cuanto a la opinión de que la mayoría de los hogares de los países industrializados poseerán esta tecnología (37% puntalmente; 53% mayoritariamente).

La Fabricación Aditiva dispone de características que potenciarán su despliegue, como la flexibilidad en los cambios de diseño (28%), la posibilidad de fabricaciones más cortas, la viabilidad de generar piezas únicas o personalizadas (25%), la capacidad de fabricación de piezas con geometrías imposibles con los métodos actuales, o la reducción de ciclos de desarrollo de productos y tiempos para el lanzamiento a mercado (21%). Para que esto ocurra la AM deberá superar ciertos retos, como limitación en las máquinas actuales en cuanto al volumen de fabricación o a la velocidad de producción (21%), los condicionantes actuales para asegurar las propiedades requeridas en el producto final (28%), o la certificación de piezas y productos terminados (19%) que en parte viene dada por la dificultad para garantizar la calidad en cada fase del proceso de producción, de modo que la trazabilidad de la fabricación esté asegurada y se puedan certificar las propiedades de los productos obtenidos.

Según los participantes consultados, las tecnologías de extrusión de material son las que tienen mayor probabilidad de implantación en los hogares, mientras que las de proyección de material y deposición de energía localizada, seguida de las tecnologías de extrusión, son las que los expertos creen que se emplearán de forma preferente en las fábricas utilizándose junto, o complementando, al conjunto de técnicas actuales.

El modelo de negocio de la fabricación puede cambiar. Los diseños de las piezas residirán en bases de datos digitales (90%). Aunque un 60% de encuestados opina que dichas bases de datos serán mayoritaria o totalmente de pago, un 38% de ellos cree que el modelo de pago será puntual. Parte del coste de la pieza se desplazará hacia la adquisición del diseño. Queda por concluir qué importancia tendrá este coste respecto del total de la fabricación.

También el patrón actual distribución cambiará. Un 61% de los expertos cree que la distribución tendrá que cambiar para dar servicio a un mercado en el que la producción se realizará de forma más distribuida, deslocalizada y más cercana al consumidor. La distribución se modificará por tanto cuando lo haga la dimensión y la localización de los centros de fabricación.

El resultado del estudio plantea un futuro con la Fabricación Aditiva desarrollada e integrada en la manufactura, contribuyendo a su sostenibilidad (78%). Para que esta transformación suceda, será necesario disponer de técnicos competentes y formados

con capacidad para desarrollar los cambios que llegan y utilizar las nuevas tecnologías en los procesos de fabricación. El resultado de la consulta muestra que la formación y cualificación específica sobre esta materia serán claramente necesarias en el 2030 (89%). Las habilidades y conocimientos precisos para ello han de ser definidos, desarrollados y ofrecidos en las universidades y centros de formación. Una de las posibilidades es la utilización de la propia impresión 3D como herramienta de formación, a través de la cual no sólo se transmiten conocimientos de las múltiples áreas necesarias para la consecución de la fabricación, sino que además los estudiantes desarrollan habilidades no cognitivas como el trabajo en equipo, la gestión del cambio o la aceptación de errores, que serán muy apreciadas en ese nuevo contexto. El uso de la AM aporta además una formación práctica, que motiva y reta a los estudiantes además de aportar un conocimiento práctico a los mismos [48].

La utilización de la Fabricación Aditiva junto con otras técnicas digitales como el software inteligente, la robótica, el Big Data, la Inteligencia Artificial (IA), conforman parte de la Cuarta Revolución Industrial. Esta Revolución traerá consigo un cambio en el mercado laboral, polarizando las profesiones y ocupaciones según el uso o no de las diferentes tecnologías. Unas profesiones desaparecerán y otras, aún desconocidas, serán necesarias. La formación permanente y la inclusión de STEAM en los planes de educación se presentan como alternativas para minimizar esos efectos [176].

8.3. La formación actual y futura en fabricación aditiva

Esta parte de la investigación trata de mostrar el estado actual de la formación reglada en los estudios de Grado de los futuros ingenieros mecánicos, particularmente en materia de Fabricación Aditiva, a través de las repuestas obtenidas de una prospección realizada a más de 40 profesores de una gran parte de las Escuelas Técnicas españolas relacionados con la ingeniería y la fabricación. Como ya se ha mencionado, las conclusiones de esta prospección proporcionan información sobre las variaciones que los docentes consideran que deben ocurrir, o que tienen planificadas en los programas de estudio de un futuro cercano. Dichas conclusiones se exponen a continuación como resumen de los datos recabados ya desplegados en el capítulo “Resultados”.

A la luz de los resultados del apartado anterior, parece conveniente que los estudiantes de ingeniería reciban formación en las tecnologías de impresión 3D para desarrollar su futura labor profesional. Debido a que las tecnologías de Fabricación Aditiva están en proceso de maduración y consolidación [23], no hay libros de texto aceptados por la comunidad universitaria que se estén utilizando en la formación

superior de los técnicos, incluyendo el Grado en Ingeniería Mecánica, en el que la fabricación es una de las asignaturas clásicas.

De acuerdo a la publicación de cada Escuela de ingeniería recabada de sus páginas web, los planes de estudio no se han modificado de manera formal (oficialmente) y la AM no forma parte explícita de los mismos, salvo en casos contados. Sin embargo, las respuestas de los profesores que han participado en el sondeo indican que un grupo significativo de educadores ya está incluyendo esta formación, aunque no en la medida o con la extensión en la que los profesores recomiendan. La formación en Fabricación Aditiva no está reconocida en los planes de estudio de las distintas Escuelas Técnicas de España, como confirma la información docente publicada anualmente, sin embargo esta formación es necesaria para los ingenieros mecánicos, tal y como opinan el 98% de los docentes que han participado en la encuesta. De hecho, el 85% de los profesores que han colaborado afirman que ya ofrecen formación en esta materia, aunque la cantidad de horas dedicada es heterogénea, y el 85% de los participantes que imparten clases teóricas de impresión 3D opina que el tiempo dedicado no es suficiente.

Los resultados obtenidos revelan que los profesores perciben la necesidad de que los alumnos reciban formación en materia de Fabricación Aditiva y esperan que dicha enseñanza esté reglada antes del 2030. Para que esto ocurra, los cambios han de iniciarse con cierta prontitud para estar probados y consolidados para aquellos alumnos que terminen los estudios en 2030. La percepción de los profesores sobre la dimensión temporal, coincide con los resultados de la prospección Delphi, en la que se muestra como los expertos esperan que las tecnologías de impresión 3D están desarrolladas y en el mercado para esta fecha.

Se puede concluir que sería conveniente una revisión de los Planes de Estudio del Grado en Ingeniería Mecánica que incluyera la formación en temas de Fabricación Aditiva de manera sistematizada, haciendo más homogéneo tanto la materia a enseñar como la dedicación. Este adiestramiento puede ser incluido en el temario de la asignatura de ingeniería de fabricación, como mayoritariamente están haciendo los profesores de Escuelas españolas de forma extraoficial. Para ello se podrían reformular los contenidos de la asignatura y quizás reducir alguno de los temas actuales como “organización y gestión de sistemas de fabricación” (32%), “conformado por moldeo” (19%) o “conformado por deformación plástica” (13%) según sugieren los expertos.

El 78% de los profesores que imparten formación teórica en sus Escuelas (un 66% del total) y la totalidad de los que actualmente no dan formación en Impresión 3D,

incluirían dicha formación como parte de una asignatura como la de Ingeniería de Fabricación. Se puede deducir por tanto que la hipótesis de partida en la investigación sobre la elección del tipo de Grado y de la asignatura a explorar es correcta.

El 96% de los encuestados confirman que disponen de laboratorio de impresión 3D, FabLab o impresora 3D. Los datos extraídos de la encuesta indican que la enseñanza práctica se anticipa a la teórica (sólo el 85% confirma que imparte clases teóricas) o que la formación teórica se vehicula a través de la práctica, en general, mucho más atractiva para los estudiantes.

Según las respuestas obtenidas se puede afirmar que la formación completa, tanto teórica como la práctica, se está impartiendo de forma generalizada entre las Escuelas de Ingeniería de España, y que la cantidad de horas es menor de la que los profesores consideran conveniente.

Los resultados numéricos muestran la heterogeneidad en la dedicación a esta formación en impresión 3D siendo única la titulación. Este hecho puede explicarse por la libertad que tienen las universidades para completar el diseño de sus títulos de Grado con la introducción de menciones o itinerarios alusivos a una concreta intensificación curricular, desde la adopción en España del Plan Bolonia.

Los resultados apoyan la teoría de los autores [178] que afirman que la “educación universitaria tradicional tiene pendiente una transformación en su currículo para integrar una actualización del conocimiento de la AM y su rol en la fabricación”.

Con los resultados obtenidos se demuestra la necesidad de un plan general sobre la formación superior en Fabricación Aditiva que sea guía y orientador a nivel nacional y que proporcione la oportunidad a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de estar a la vanguardia del conocimiento en un futuro cercano [163].

La inclusión ordenada de las tecnologías de impresión 3D en la universidad, puede, además de aportar conocimientos, servir de vehículo para que los alumnos puedan desarrollar y ejercitar habilidades no cognitivas pero muy valoradas en el mercado laboral, tal y como ya se ha mencionado.

Por último, la utilización de la AM en la universidad puede aportar un nuevo nexo de unión con la empresa, no sólo por la formación adquirida de los futuros técnicos sino también como centros de investigación y desarrollo y como referencia de enseñanza para los ingenieros en activo que deseen aprender sobre estas tecnologías.

8.4. Posibles líneas futuras

Como consecuencia de la investigación realizada y de los resultados obtenidos, la exploración podría continuar en el futuro ampliándose y desarrollándose en las siguientes dimensiones:

- Generalización del alcance geográfico del estudio. Extensión del estudio en la dimensión Europea o, idealmente, a nivel mundial. Comparación de resultados con la situación española.

Esta ampliación del estudio aportaría un indicador del cambio esperado por los expertos de las tecnologías de todo el mundo y la velocidad de acompañamiento de la formación universitaria en los distintos países o continentes. Podría dar además una visión de la rapidez que requieren los cambios en la educación española con respecto a la europea o a la mundial, según la dimensión del estudio posterior.

- Mantenimiento de un sistema de prospección dinámico que pueda conservar de una manera activa y actualizada el sentido de la investigación y convertirse en un documento actualizado de las tendencias de fabricación.

Las futuras prospecciones ofrecerían la posibilidad de actualizar la información expuesta en este estudio con las futuras exploraciones, con la posibilidad de realizar un “mapa” de las tecnologías que se desarrollan y su estado de avance, de su utilización en fabricación. Además se podría comprobar en qué medida se cumplen los resultados de la investigación aquí presentada y los motivos de las posibles desviaciones que aparezcan.

- Evaluación de las actualizaciones de la formación en Fabricación aditiva del alumnado de Grado en Ingeniería Mecánica según se vayan desarrollando las tecnologías.

Comprobación de las posibles actualizaciones futuras de los planes de estudios de las diferentes Escuelas como demostración de su modernización, comprobando si la formación en impresión 3D se incorpora a los planes de estudio de forma generalizada y ordenada, la extensión de materia de enseñanza a la que afectaría el cambio, y los momentos en los que ocurrirá, comprobando el paralelismo, o no, con el despliegue en el mercado de cada una de las tecnologías AM.

Igualmente interesante sería conocer cómo será la formación universitaria en materia de Fabricación Aditiva en el futuro y si, como sugiere este estudio, dicha formación se ha reglado, normalizado y generalizado en España y en el resto del mundo.

9. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] F. Dawson, "How disruptive is 3D printing really," *Forbes, September*, vol. 30, 2014.
- [2] M. Potstada *et al*, "An alignment approach for an industry in the making: DIGINOVA and the case of digital fabrication," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 102, pp. 182-192, 2016.
- [3] ISO/ASTM, "ISO/ASTM 52900: 2015 Additive manufacturing-General principles-terminology," *Caixa Bank Research*, 2012.
- [4] I. Gibson, D. Rosen and B. Stucker, "Additive Manufacturing—3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing," 2015.
- [5] M. Attaran, "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing," *Bus. Horiz.*, vol. 60, (5), pp. 677-688, 2017.
- [6] B. Mueller, "Additive manufacturing technologies—Rapid prototyping to direct digital manufacturing," *Assem. Autom.*, vol. 32, (2), 2012.
- [7] H. Steenhuis and L. Pretorius, "Consumer additive manufacturing or 3D printing adoption: an exploratory study," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 27, (7), pp. 990-1012, 2016.
- [8] S. Ford and T. Minshall, "3D printing in teaching and education: A review of where and how it is used," *Additive Manufacturing*, 2017.
- [9] J. González-Páramo, "Cuarta Revolución Industrial, empleo y estado de bienestar," pp. 27, 05/12/2017, 2017.
- [10] I. Gibson, "The changing face of additive manufacturing," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 28, (1), pp. 10-17, 2017.
- [11] T. Wohlers, *Wohlers Report 2016*. Wohlers Associates, Inc, 2016.
- [12] N. Barkouskaya and Н Барковская, "Standardization of 3D printing," *Международная Научно-Техническая Конференция «Приборостроение – 2014»*, pp. 146-147, 2014.
- [13] A. Pandian and C. Belavek, "A review of recent trends and challenges in 3D printing," *Proceedings of the 2016 ASEE North Central Section Conference Copyright © 2016, American Society for Engineering Education*, 2016.

[14] A. M. García, I. S. Pérez and J. G. Gisbert, "Acción de soporte a la normalización en fabricación aditiva. Proyecto SASAM," *3C Tecnología*, vol. 2, (4), 2013.

[15] M. Monzón *et al*, "Standardization in additive manufacturing: activities carried out by international organizations and projects," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 76, (5-8), pp. 1111-1121, 2015.

[16] *ISO and ASTM International unveil framework for creating global additive manufacturing standards.*

Available: <https://www.iso.org/news/2016/10/Ref2124.html>;

[17] *ISO/ASTM 52921: 2013. Standard Terminology for Additive Manufacturing—Coordinate Systems and Test Methodologies.*

Available: <https://www.iso.org/standard/62794.html>.

[18] International Organization for Standardization, ISO, "Standard specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.1. ISO/ASTM 52915:2013 (ASTM F2915) ," *Iso/Astm*, 2013.

[19] International Organization for Standardization, ISO. *ISO 17296-2:2015. Additive manufacturing -- General principles -- Part 2: Overview of process categories and feedstock.* Available: <https://www.iso.org/standard/61626.html>.

[20]. *ISO 17296-3:2014. Additive manufacturing -- General principles -- Part 3: Main characteristics and corresponding test methods.* Available: <https://www.iso.org/standard/61627.html>.

[21] *ISO 17296-4. Additive manufacturing -- General principles -- Part 4: Overview of data processing.* Available: <https://www.iso.org/standard/61628.html>.

[22]. *AENOR_Buscador de normas.* Available:

<http://www.aenor.es/aenor/normas/buscadornormas/resultadobuscnormas.asp>.

[23] M. P. Pérez-Pérez, M. A. Sebastián and E. Gómez-García, "Análisis y propuesta para la utilización de los contenidos en normas técnicas para la enseñanza de la fabricación aditiva," *Actas Del XXII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA CNIM*, pp. 286, 21/septiembre/2018, 2018.

[24] M. Richardson and B. Haylock, "Designer/maker: the rise of additive manufacturing, domestic-scale production and the possible implications for the automotive industry," *Computer-Aided Design & Applications PACE*, vol. 2, pp. 33-48, 2012.

- [25] P. Liu *et al*, "The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis," *Production Planning & Control*, vol. 25, (13-14), pp. 1169-1181, 2014.
- [26] L. E. Murr, "Frontiers of 3D printing/additive manufacturing: from human organs to aircraft fabrication," *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 32, (10), pp. 987-995, 2016.
- [27] Z. Sun, "Insights into 3D printing in medical applications," *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2019.
- [28] J. S. Srari *et al*, "Distributed manufacturing: scope, challenges and opportunities," *Int J Prod Res*, vol. 54, (23), pp. 6917-6935, 2016.
- [29] M. Despeisse, S. Ford and A. Viljakainen, "Product life extension through additive manufacturing," pp. 1-16, 2015, December, .
- [30] T. Rayna and L. Striukova, "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 102, pp. 214-224, 2016.
- [31] C. Weller, R. Kleer and F. T. Piller, "Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited," *Int J Prod Econ*, vol. 164, pp. 43-56, 2015.
- [32] Y. Benkler, *The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom*. Yale University Press, 2006.
- [33] R. Jiang, R. Kleer and F. T. Piller, "Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 117, pp. 84-97, 2017.
- [34] T. Birtchnell and J. Urry, "3D, SF and the future," *Futures*, vol. 50, pp. 25-34, 2013.
- [35] S. Vicente Oliva, "La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro," *Centro Universitario De La Defensa. UNIZAR*, pp. 1-13, 2018.
- [36] G. Chryssolouris, D. Mavrikios and D. Mourtzis, "Manufacturing systems: skills & competencies for the future," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 17-24, 2013.
- [37] L. Rentzos, D. Mavrikios and G. Chryssolouris, "A two-way knowledge interaction in manufacturing education: The teaching factory," *Procedia CIRP*, vol. 32, pp. 31-35, 2015.

- [38] H. Steenhuis and L. Pretorius, "The additive manufacturing innovation: a range of implications," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 28, (1), pp. 122-143, 2017.
- [39] M. Milić, S. Maričić and D. Radolović, "Implementation of additive technologies in elementary education," in *MATEC Web of Conferences*, 2017, pp. 02007.
- [40] J. Go and A. J. Hart, "A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation," *Additive Manufacturing*, vol. 10, pp. 76-87, 2016.
- [41] P. Minetola *et al*, "Impact of additive manufacturing on engineering education—evidence from Italy," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 21, (5), pp. 535-555, 2015.
- [42] A. Gatto *et al*, "Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 21, (5), pp. 598-603, 2015.
- [43] C. Schelly *et al*, "Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom," *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 28, pp. 226-237, 2015.
- [44] V. Kostakis, V. Niaros and C. Giotitsas, "Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece," *Telematics Inf.*, vol. 32, (1), pp. 118-128, 2015.
- [45] Y. Huang *et al*, "Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, (1), pp. 014001, 2015.
- [46] *El Marco Español de Cualificaciones (MECU)*. Available:
<https://www.educacionyfp.gob.es/educacion/mc/mecu/mecu.html>.
- [47] O. J. Mork *et al*, "Manufacturing Education-Facilitating the Collaborative Learning Environment for Industry and University," *Procedia CIRP*, vol. 54, pp. 59-64, 2016.
- [48] J. D. Orjuela-Méndez, J. M. Arroyo-Osorio and R. Rodríguez-Baracaldo, "Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería," *Ingeniería Mecánica*, vol. 16, (1), pp. 59-71, 2013.

- [49] S. Ford and T. Minshall, "Invited Review Article: Where and how 3D printing is used in teaching and education." *Additive Manufacturing*, vol. 25, pp. 131-150, January 2019, 2018.
- [50] E. Gómez, "Estudios de las tendencias en la enseñanza universitaria de la ingeniería de fabricación," in *II Curso Sobre Temas Actuales De Ingeniería Mecánica Y Fabricación. X Cursos De Verano UNED*, 1999, .
- [51] C. A. Christie and E. Barela, "The Delphi technique as a method for increasing inclusion in the evaluation process," *The Canadian Journal of Program Evaluation*, vol. 20, (1), pp. 105, 2005.
- [52] J. Landeta, *El Método Delphi. Una Técnica De Previsión Del Futuro*. Ariel, 1999.
- [53] L. Giannarou and E. Zervas, "Using Delphi technique to build consensus in practice," *International Journal of Business Science and Applied Management*, vol. 9, (2), pp. 65-82, 2014.
- [54] J. Cabero Almenara and A. Infante Moro, "Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación," *Eduotec*, vol. 48, pp. 1-16, 2014.
- [55] M. Reguant Álvarez and M. Torrado Fonseca, "El método Delphi," *REIRE.Revista D'Innovació i Recerca En Educació*, 2016, Vol.9, Num.2, P.87-102, 2016.
- [56] N. C. Dalkey, *The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion*, 1969.
- [57] J. B. D. Roy, "3D printing for multidisciplinary education: A technology with diverse potential," in *11th International Technology, Education and Development Conference*, 2017, [INTED2017 Proceedings]. Available: <https://library.iated.org/view/ROY20173DP>. DOI: 10.21125/inted.2017.0039.
- [58] *European Qualification Framework. Learning Opportunities and Qualifications in Europe*. Available: <https://ec.europa.eu/ploteus/>.
- [59] *Programas de primer ciclo*. Available: https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/content/first-cycle-programmes-79_es.
- [60] *Cuadro MECES*. Available: <http://www.educacionyfp.gob.es/educacion-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/catalogo-servicios/gestion-titulos/informacion-comun/naric/cuadro-meces.pdf>.
- [61] J. L. Abreu, "El Método de la Investigación Research Method," *Daena: International Journal of Good Conscience*, vol. 9, (3), pp. 195-204, 2014.

- [62] G. Rowe and G. Wright, "Expert opinions in forecasting: The role of the delphi technique," in *Principles of Forecasting*, Springer, 2001, pp. 125-144.
- [63] N. C. Dalkey, "Delphi," in *An Introduction to Technological Forecasting*, Routledge, pp. 1-12, 1967.
- [64] C. Okoli and S. D. Pawlowski, "The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications," *Information & Management*, vol. 42, (1), pp. 15-29, 2004.
- [65] M. Nowack, J. Endrikat and E. Guenther, "Review of Delphi-based scenario studies: quality and design considerations," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 78, (9), pp. 1603-1615, 2011.
- [66] Clarivate Analytics, *Web of Science, WOS*. <https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>
- [67] *Google Académico*. Available: https://scholar.google.es/schhp?hl=es&as_sdt=0,5.
- [68] ISO. *Standards catalogue ISO/TC 261 Additive manufacturing*. Available: <https://www.iso.org/committee/629086/x/catalogue/>.
- [69] ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies and ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Subcommittee F42. 91 on Terminology, *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. ASTM International, 2012.
- [70] *Google Forms formularios google*. Google. Available: <https://www.google.es/intl/es/forms/about/>.
- [71] *Outlook correo electrónico*. Microsoft. Available: <https://outlook.live.com/owa/>.
- [72] J. Kietzmann, L. Pitt and P. Berthon, "Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing," *Business Horizons, Elsevier*, vol. 58, (2), pp. 209-215, March–April 2015.
- [73] H. Steenhuis, X. Fang and T. Ulusemre, "The geography of 3D printing PICMET 2018." in *Proceedings of PICMET'18 Conference: Technology Management for Interconnected World Managing Technological Entrepreneurship: The Engine for Economic Growth*, Honolulu, Hawaii, USA, 2018/19-23 August, pp. 1-7.
- [74] *History of Additive Manufacturing. Wohlers Report 2016* [Wohlers Report 2016]. Available: <http://www.wohlersassociates.com/history2016.pdf>.

- [75] S. Antoniwi *et al*, "Additive manufacturing: Opportunities and constraints," in *Roundtable Hosted by the Royal Academy of Engineering*, 2013/ may 23, pp. 1-38.
- [76] Á Rodríguez-Prieto *et al*, "Análisis del escenario actual de certificación y normalización en fabricación aditiva," in *22nd International Congress on Project Management and Engineering*, Madrid, 11th – 13th July 2018, 2018, pp. 1011-1023.
- [77] *Google Trends*. Google. Available: <https://trends.google.es/trends/?geo=ES>.
- [78] M. Martin, I. Flores and M. Sebastian, "Analysis of standards and specific documentation about equipment of dimensional metrology," in *AIP Conference Proceedings*, 2009, pp. 213-221.
- [79] ISO. *International Organization for Standardization*. Available: <https://www.iso.org/home.html>.
- [80] J. Lenz, "EOS. standardization of industrial additive manufacturing," in *International Conference of Additive Manufacturing*, 2015, Available: http://www.aita3d.it/wp-content/uploads/dlm_uploads/2015/10/Jorg-lenz.pdf.
- [81] A. Makes and S. Collaborative, "Standardization Roadmap for Additive Manufacturing," *ANSI, P.Public Draft*, 2017.
- [82] J. L. Parada, "Fabricación aditiva y transformación logística: la impresión 3D," *Oikonomics: Revista De Economía, Empresa Y Sociedad*, (9), pp. 41-57, 2018.
- [83] I. J. Petrick and T. W. Simpson, "3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition," *Research-Technology Management*, vol. 56, (6), pp. 12-16, 2013.
- [84] E. O'Sullivan and L. Brévignon-Dodin, "Role of Standardisation in support of Emerging Technologies," *Institute for Manufacturing, University of Cambridge: Cambridge, UK*, 2012.
- [85] ISO. *New agreement strengthens partnership between ISO and ASTM on additive manufacturing*. Available: <https://www.iso.org/news/2011/10/Ref1481.html>.
- [86] ASTM International. *ASTM and ISO sign additive manufacturing PSDO agreement*. Available: <https://www.astm.org/standardization-news/?q=outreach/astm-and-iso-sign-additive-manufacturing-psdo-agreement-nd11.html>.

[87] ISO/ASTM. *ASTM F42/ ISO TC 261 develops additive manufacturing standards*. Available:

https://www.astm.org/COMMIT/F42_AMStandardsStructureAndPrimer.pdf.

[88] C. K. Chua, C. H. Wong and W. Y. Yeong, *Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing*. Academic Press, 2017.

[89] S. Kalpakjian and S. Schmid, *Manufactura, Ingeniería Y Tecnología*. (5ª edición ed.) México: Pearson Educación, 2008.

[90] J. Z. Melton, "A+: The case for adding art in technical curriculums," *NED New Equipment Digest*, 2017, Nov 27. 2017.

[91] H. B. Rejeb and B. Roussel, "Design and Innovation Learning: Case Study in North African Engineering Universities Using Creativity Workshops and Fabrication Laboratories," *Procedia CIRP*, vol. 70, pp. 331-337, 2018.

[92] Bemidji State University, "Additive Manufacturing: Recommendations for Northwest Minnesota," *360º Manufacturing and Applied Engineering ATE Regional Center of Excellence*, pp. 1-35, 2014.

[93] M. Lindqvist, H. Piili and A. Salminen, "Benchmark Study of Industrial Needs for Additive Manufacturing in Finland," *Physics Procedia*, vol. 83, pp. 854-863, 2016.

[94] I. F. Ituarte *et al*, "Additive Manufacturing in Finland: Recommendations for a Renewed Innovation Policy," *Physics Procedia*, vol. 89, pp. 70-79, 2017.

[95] D. Kunniger and D. R. Walwyn, "Weaknesses in policy to support technology diffusion: a study of additive manufacturing in South Africa," *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, vol. 9, (2), pp. 137-152, 2017.

[96] W. B. Du Preez and D. J. De Beer, "Implementing the South African additive manufacturing technology roadmap-the role of an additive manufacturing centre of competence," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 26, (2), pp. 85-92, 2015.

[97] F. W. Baumann and D. Roller, "Overview of German Additive Manufacturing Companies," *Data*, vol. 2, (3), pp. 23, 2017.

- [98] D. A. Arcos-Novillo and D. Güemes-Castorena, "Development of an additive manufacturing technology scenario for opportunity identification—The case of Mexico," *Futures*, vol. 90, pp. 1-15, 2017.
- [99] G. Dwivedi, S. K. Srivastava and R. K. Srivastava, "Analysis of barriers to implement additive manufacturing technology in the Indian automotive sector," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 47, (10), pp. 972-991, 2017.
- [100] L. Thomas-Seale *et al*, "The barriers to the progression of additive manufacture: Perspectives from UK industry," *Int J Prod Econ*, vol. 198, pp. 104-118, 2018.
- [101] H. Huang and G. Wang, "Comparison study on the industrial policies of additive manufacturing in US and china," in *Industrial Economics System and Industrial Security Engineering (IEIS), 2016 International Conference On*, 2016, pp. 1-6.
- [102] H. Etzkowitz *et al*, "The future of the university and the university of the future: evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm," *Research Policy*, vol. 29, (2), pp. 313-330, 2000.
- [103] J. García Arenas, "Los pilares de la educación: una visión moderna," *Caixa Bank Research*, vol. Informe mensual, (mayo 2017), 10 May 2017, 2017.
- [104] S. Sinha *et al*, "Does designing for additive manufacturing help us be more creative? an exploration in engineering design education," in *ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2017, pp. V003T04A014-V003T04A014.
- [105] E. Fernandez, "La buena educación" *Caixa Bank Research*, 2017, mayo 10. 2017.
- [106] A. Morron, "Enseñar a aprender: la educación ante el cambio tecnológico," *Informe Mensual - La Caixa*, ISSN 1134-1947, vol. Nº. 412, (Ejemplar dedicado a: Educación: más imprescindible que nunca), pp. 38-39, 10/05/2017, 2017.
- [107] S. G. Keaveney and D. P. Dowling, "Application of additive manufacturing in design & manufacturing engineering education," in *2018 2nd International Symposium on Small-Scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS)*, 2018, pp. 1-6.
- [108] A. Berman *et al*, "Exploring the 3D printing process for young children in curriculum-aligned making in the classroom," in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*, 2018, pp. 681-686.

- [109] O. Stickel *et al*, "3D printing with marginalized children—an exploration in a palestinian refugee camp," in *ECSCW 2015: Proceedings of the 14th European Conference on Computer Supported Cooperative Work, 19-23 September 2015, Oslo, Norway*, 2015, pp. 83-102.
- [110] L. K. Thurn *et al*, "Education packed in technology to promote innovations: Teaching additive manufacturing based on a rolling lab," in *MATEC Web of Conferences*, 2017, pp. 02013.
- [111] M. Eisenberg, "3D printing for children: What to build next?" *International Journal of Child-Computer Interaction*, vol. Volume 1, (Issue 1), pp. Pages 7-13, January 2013, 2013.
- [112] G. K. Bush, R. N. Pearson and L. D. Tarvin, "A Problem Based Learning Project Analyzing Rubrics used to Evaluate Elementary STEM Immersion Programs." , Saint Louis University, 2017.
- [113] B. Ozfidan and M. A. de Miranda, "K12 Teacher Credentialing Containing Engineering Content in the USA," *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, (1), pp. 3-13, 2017.
- [114] R. E. Elrod, "Classroom innovation through 3D printing," *Library Hi Tech News*, vol. 33, (3), pp. 5-7, 2016.
- [115] T. Haavi, N. Tvenge and K. Martinsen, "CDIO design education collaboration using 3D-desktop printers," 2018.
- [116] B. Pourabdollahian, M. Taisch and E. Kerga, "Serious games in manufacturing education: Evaluation of learners' engagement," *Procedia Computer Science*, vol. 15, pp. 256-265, 2012.
- [117] E. J. Hobsbawm, *En Torno a Los Orígenes De La Revolución Industrial*. (Sexta ed.) Siglo XXI de España Editores, 1988.
- [118] K. Schwab, *La Cuarta Revolución Industrial*. Debate, 2016.
- [119] S. Dutta, T. Geiger and B. Lanvin, "The global information technology report 2015," in *World Economic Forum*, 2015, pp. P80-85.
- [120] T. A. Hemphill and G. O. WHITE III, "The World Economic Forum and Nike: Emerging 'Shared Responsibility'and Institutional Control Models for Achieving a

Socially Responsible Global Supply Chain?" *Business and Human Rights Journal*, vol. 1, (2), pp. 307-313, 2016.

[121] J. G. Corvalán, "Desarrollo tecnológico y empleo: Avances preliminares," *Diario DPI. DPI Cuantico*, 2017.

[122] R. Doménech *et al*, "¿Cuán vulnerable es España a la Revolución Digital?_BBVA Research Observatorio Economico," 19/03/2018, 2018.

[123] W. World Economic Forum, "The new production workforce: Responding to shifting labour demands," January 2018, 2018.

[124] C. B. Frey and M. A. Osborne, "The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?" *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 114, pp. 254-280, 2017.

[125] F. R. Sánchez, "La Digitalización y el Empleo Decente en España Retos y propuestas de actuación," *Futuro Del Trabajo: Trabajo Decente Para Todos*, (3), pp. 6-12, 2017.

[126] WEF, "The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution," *Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2016*, pp. 1-157, Enero, 2016.

[127] *The Digital Talent Gap—Are Companies Doing Enough?*. Capgemini. Available: <https://www.capgemini.com/resources/digital-talent-gap/>.

[128] M. Arntz, T. Gregory and U. Zierahn, "The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis," *OECD Social, Employment, and Migration Working Papers*, (189), pp. 0_1, 2016.

[129] Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Gobierno de España, "Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020: Claves. Spain. Spanish Strategy of Science, Technology and Innovation 2013-2020," vol. 2018, (06/21), pp. 1-43, .

[130] *INE, Instituto Nacional de Estadística*. Administración General, Estado Español. Available: <http://www.ine.es/>.

[131] A. B. Bernard and T. C. Fort, "Factoryless goods producing firms," *Am. Econ. Rev.*, vol. 105, (5), pp. 518-523, 2015.

- [132] D. Rodrik, "Premature deindustrialization," *Journal of Economic Growth*, vol. 21, (1), pp. 1-33, 2016.
- [133] M. D. Crozet and E. Milet, "The servitization of French manufacturing firms," *CEPII Research Center*, 2014, October, 2014,.
- [134] E. Fernandez, "El futuro de la industria," *Caixa Bank Research*, 8 Nov 16. 2016.
- [135] M. d. M. Domènech and À Ruiz, "Igualdad de oportunidades: nivelar el terreno de juego para todos," *Caixa Bank Research*, 6 Mar 2018, 2018.
- [136] C. Canals and C. Ferras, "Medidas para favorecer la igualdad de oportunidades," 6 Mar 2018, 2018.
- [137] J. Montoriol-Garriga, "La calidad del empleo en España," *Caixa Bank Research*, 27 Nov 2017, 2017.
- [138] K. Schwab and X. Sala-i-Martin, "WEF_The Global competitiveness Report 2016-17," 2018.
- [139] O. Aspachs, "Cambio tecnológico y crecimiento económico: A nuevas preguntas, nuevas respuestas," *Caixa Bank Research*, 9 febrero, 2018.
- [140] J. Tirole, *La Economía Del Bien Común*. Taurus, 2017.
- [141] J. M. D. Martínez, "La economía colaborativa: la sociedad ante un nuevo paradigma económico," *eXtoikos*, (19), pp. 3-7, 2017.
- [142] L. F. Katz and A. B. Krueger, *The Rise and Nature of Alternative Work Arrangements in the United States, 1995-2015*, 2016.
- [143] B. News Mundo, "Qué es la "economía gig", por qué está creciendo tan rápido y cuáles son sus riesgos." *BBC Mundo*, 6/09/2017, 2017.
- [144] G. S. Elizabeth, E. Garcés Suárez and O. Alcívar Fajardo, "Las tecnologías de la información en el cambio de la educación superior en el siglo XXI: Reflexiones para la práctica," *Revista Universidad Y Sociedad*, vol. 8, (4), pp. 171-177, 2016.
- [145] O. Galor, "Inequality human capital formation and the process of development. NBER Working Paper No. 17058," May 2011, 2011.
- [146] *European Council conclusions*. European Council, EU. Available: http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/council_conclusion_17_june_en.pdf.

[147] *Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT 2007-2015). National Science and Technology Strategy (ENCYT 2007-2015)*. Comisión Ministerial de Ciencia y Tecnología, Spain. Available:

http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.7eeac5cd345b4f34f09dfd1001432ea0/?vgnnextoid=a5c5c10fb468c310VgnVCM1000001d04140aRCRD&lang_ch oosen=gl.

[148] *Estrategia Nacional de Innovación (E2i). State Innovation Strategy E21. General Secretariat for Innovation*. Ministerio de Ciencia e Innovación, Spain. Available:

<http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.7eeac5cd345b4f34f09dfd1001432ea0/?vgnnextoid=33a5c10fb468c310VgnVCM1000001d04140aRCRD>.

[149] *Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020. (National Plan for Scientific and Technical Research and Innovation)*. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Spain. Available:

<http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.edc7f2029a2be27d7010721001432ea0/?vgnnextoid=9af75ab2e7bb0610VgnVCM1000001d04140aRCRD>.

[150] *Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016. National R+D+i Plan*. Ministerio de Economía y Competitividad, Spain. Available:

<http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.7eeac5cd345b4f34f09dfd1001432ea0/?vgnnextoid=83b192b9036c2210VgnVCM1000001d04140aRCRD>.

[151] *Indicadores del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación. Edición 2017. Spain. Indicators of the Spanish System of Science, Technology and Innovation. Edition 2017*. FECYT Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, Spain. Available: <https://icono.fecyt.es/informes-y-publicaciones/analisis-estadisticas-de-id-e-innovacion>.

[152] A. García Domínguez, J. Claver Gil and M. Á Sebastián Pérez, "Customización en masa a través de la parametrización de los diseños," in *22nd International Congress on Project Management and Engineering*, Madrid, 2018, pp. 1101-1111.

[153] M. Reguant Álvarez and M. Torrado Fonseca, "El método Delphi," *REIRE.Revista D'Innovació i Recerca En Educació*, 2016, Vol.9, Num.2, P.87-102, 2016.

[154] T. Gnatzy *et al*, "Validating an innovative real-time Delphi approach-A methodological comparison between real-time and conventional Delphi studies," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 78, (9), pp. 1681-1694, 2011.

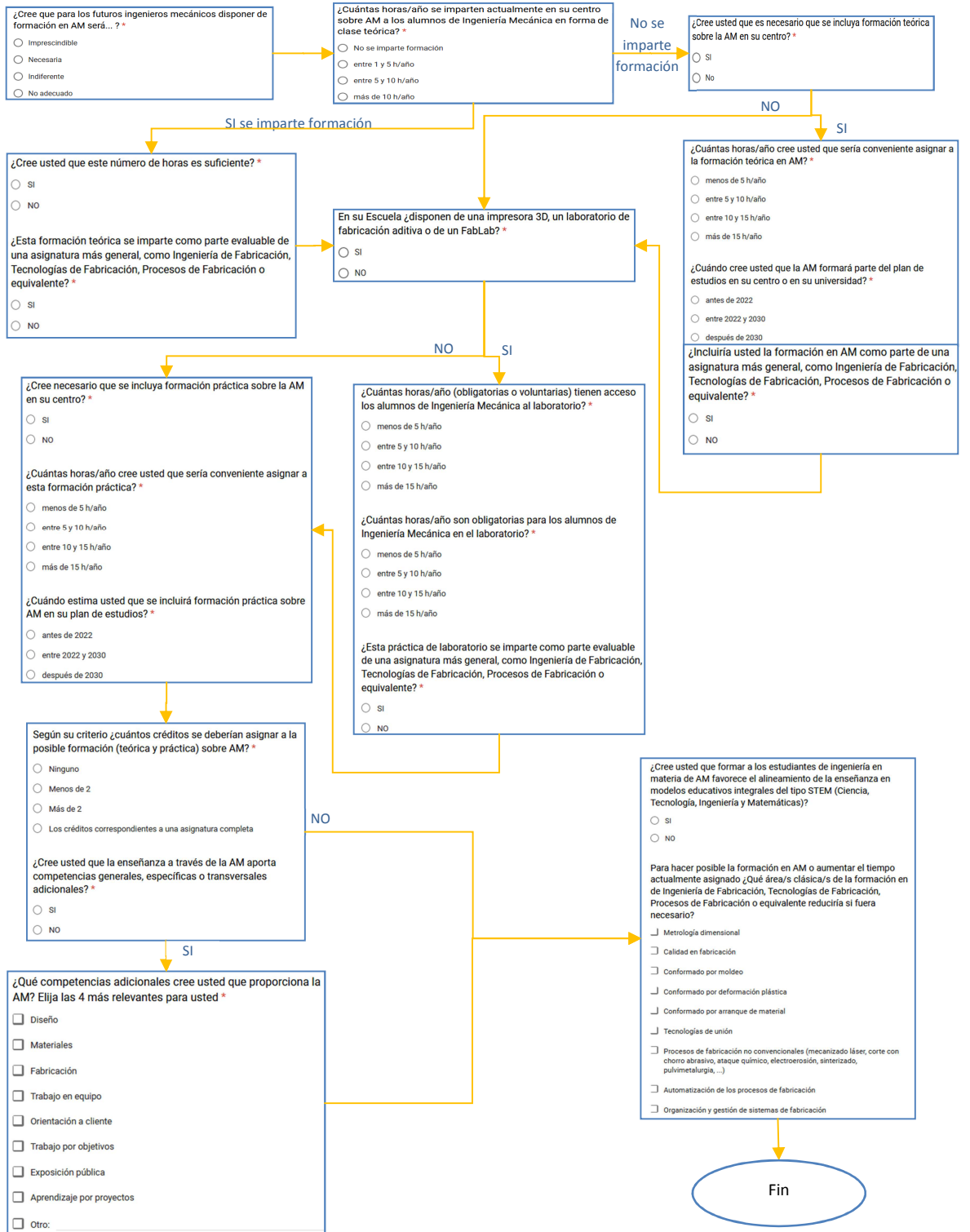
- [155] A. Heiko and I. Darkow, "Scenarios for the logistics services industry: a Delphi-based analysis for 2025," *Int J Prod Econ*, vol. 127, (1), pp. 46-59, 2010.
- [156] T. Gordon and A. Pease, "RT Delphi: An efficient, "round-less" almost real time Delphi method," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 73, (4), pp. 321-333, 2006.
- [157] A. Heiko and I. Darkow, "Scenarios for the logistics services industry: a Delphi-based analysis for 2025," *Int J Prod Econ*, vol. 127, (1), pp. 46-59, 2010.
- [158] T. Gordon and A. Pease, "RT Delphi: An efficient, "round-less" almost real time Delphi method," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 73, (4), pp. 321-333, 2006.
- [159] I. I. Mitroff and H. A. Linstone, *The Unbounded Mind: Breaking the Chains of Traditional Business Thinking*. Oxford University Press, 1995.
- [160] S. J. Ford, L. Mortara and T. H. Minshall, "The emergence of additive manufacturing: introduction to the special issue," 2015.
- [161] M. Baumers *et al*, "The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 102, pp. 193-201, 2016.
- [162] V. Mironov *et al*, "Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering," *Trends Biotechnol.*, vol. 21, (4), pp. 157-161, 2003.
- [163] M. Pérez-Pérez, E. Gómez and M. Sebastián, "Delphi Prospection on Additive Manufacturing in 2030: Implications for Education and Employment in Spain," *Materials*, vol. 11, (9), pp. 1500, 2018.
- [164] *Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT)*. Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades. Gobierno de España. Available: <https://www.educacion.gob.es/ruct/home>.
- [165] *¿Qué estudiar y dónde? Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD)*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD). Gobierno de España. Available: <http://srv.aneca.es/ListadoTitulos/>.
- [166] *INE. Instituto Nacional de Estadística. National Statistics Institute. Spanish Statistical Office*. Administración General, Estado Español. Available: <https://www.ine.es/>.

- [167] J. Sun, S. Vijayavenkataraman and H. Liu, "An overview of scaffold design and fabrication technology for engineered knee meniscus," *Materials*, vol. 10, (1), pp. 29, 2017.
- [168] X. Zhang, G. Fang and J. Zhou, "Additively manufactured scaffolds for bone tissue engineering and the prediction of their mechanical behavior: A review," *Materials*, vol. 10, (1), pp. 50, 2017.
- [169] *ISO/TC 261_Additive manufacturing*. Available: <https://www.iso.org/committee/629086.html>.
- [170] H. Paris, "A life cycle assessment-based approach for evaluating the influence of total build height and batch size on the environmental performance of electron beam melting," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-14, 2018.
- [171] F. Le Bourhis *et al*, "Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 69, (9-12), pp. 1927-1939, 2013.
- [172] M. Monzón *et al*, "Anisotropy of photopolymer parts made by digital light processing," *Materials*, vol. 10, (1), pp. 64, 2017.
- [173] J. IK4, "Impacto de la fabricación aditiva en la industria: Visión tecnológica y últimas tendencias. Presentación de AIRBUS. 2017," unpublished, private communication, 31/May/2017.
- [174] M. Schmidt *et al*, "Laser based additive manufacturing in industry and academia," *CIRP Annals*, vol. 66, (2), pp. 561-583, 2017.
- [175] *Clasificación Internacional de Patentes*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Gobierno de España. Available: <http://cip.oepm.es/>.
- [176] S. Sinha *et al*, "Design and Preliminary Evaluation of a Deployable Mobile Makerspace for Informal Additive Manufacturing Education," 2017.
- [177] D. Roy and J. W. Brine, "3D printing for multidisciplinary education: A technology with diverse potential," in *Proceeding of INTED2017 Conference 6th-8th March 2017, Valencia, Spain, 2017*, .

[178] I. F. Ituarte *et al*, "Additive manufacturing validation methods, technology transfer based on case studies," in *Additive Manufacturing—Developments in Training and Education*. Springer, 2019, pp. 99-112.

10. ANEXO 1: CONSULTA REALIZADA A LOS PROFESORES

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva



**11. ANEXO 2: LISTA DE
UNIVERSIDADES Y CENTROS
CONSULTADOS.**

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Este Anexo aporta información sobre las denominaciones de las universidades publicadas por el RUCT y ANECA que imparten el título de Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electromecánica en España. Se incluyen diversos datos académicos recogidos de las páginas web de cada una de las universidades. Por último se aporta el vínculo más cercano encontrado a la información digital disponible sobre la universidad, el centro, el plan de estudios y el temario de la asignatura objeto de estudio, la Ingeniería de Fabricación.

11.1. Universidades y centros ordenados por Comunidad Autónoma

Esta lista incluye la ubicación del centro (Comunidad Autónoma), el código del título, el nombre del título que adquiere el alumno al cursar el Grado en Ingeniería Mecánica y Electromecánica, la denominación de las universidades que imparten la formación, el nivel académico y el centro en el que se imparte la formación. Todos ellos ordenados por orden de la Comunidad Autónoma.

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
Andalucía	2501729	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Almería	Universidad de Almería	Grado	Escuela Superior de Ingeniería
Andalucía	2503077	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Superior de Ingeniería
Andalucía	2503077	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Politécnica Superior
Andalucía	2501800	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Córdoba	Universidad de Córdoba	Grado	Escuela Politécnica Superior de Córdoba
Andalucía	2501854	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Huelva	Universidad de Huelva	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Andalucía	2501880	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Jaén	Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Jaén)
Andalucía	2501880	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la	Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Linares)

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
		Universidad de Jaén			
Andalucía	2502008	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Málaga	Universidad de Málaga	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Andalucía	2502306	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Sevilla	Universidad de Sevilla	Grado	Escuela Politécnica Superior
Andalucía	2502791	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica por la Universidad Loyola Andalucía	Universidad Loyola Andalucía	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Sede de Sevilla)
Aragón	2502485	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Zaragoza	Universidad de Zaragoza	Grado	Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Asturias	2502376	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Oviedo	Universidad de Oviedo	Grado	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón
Canarias	2501898	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de La Laguna	Universidad de La Laguna	Grado	Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Canarias	2502980	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles
Cantabria	2502455	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cantabria	Universidad de Cantabria	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación
Castilla y León	2501592	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila	Universidad Católica de Ávila (Santa Teresa de Jesús)	Grado	Facultad de Ciencias y Artes
Castilla y León	2501738	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Burgos	Universidad de Burgos	Grado	Escuela Politécnica Superior
Castilla y León	2501945	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de León	Universidad de León	Grado	Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial
Castilla y León	2502285	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Salamanca	Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Castilla y León	2502285	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la	Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Politécnica Superior de Zamora

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
		Universidad de Salamanca			
Castilla y León	2502322	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Valladolid	Universidad de Valladolid	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Castilla-La Mancha	2502467	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingenieros Industriales
Castilla-La Mancha	2502467	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Castilla-La Mancha	2502467	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén
Cataluña	2500896	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Autónoma de Barcelona	Universidad Autónoma de Barcelona	Grado	Escuela Universitaria Salesiana de Sarrià
Cataluña	2500841	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Girona	Universidad de Girona	Grado	Escuela Politécnica Superior
Cataluña	2501953	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Lleida	Universidad de Lleida	Grado	Escuela Politécnica Superior
Cataluña	2501218	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Universidad Politécnica de Cataluña	Grado	Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE)
Cataluña	2501218	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Universidad Politécnica de Cataluña	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú
Cataluña	2501218	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Universidad Politécnica de Cataluña	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa
Cataluña	2501218	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Universidad Politécnica de Cataluña	Grado	Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
		Catalunya			de Terrassa
Cataluña	2503064	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pompeu Fabra	Universidad Pompeu Fabra (Campus de Mataró)	Grado	Escuela Superior Politécnica Tecnocampus
Cataluña	2501675	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rovira i Virgili	Universidad Rovira i Virgili	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química
Com. Valenciana	2502271	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Jaume I de Castellón	Universidad Jaume I de Castellón	Grado	Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales
Com. Valenciana	2501621	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Miguel Hernández de Elche	Universidad Miguel Hernández de Elche	Grado	Escuela Politécnica Superior de Elche
Com. Valenciana	2502182	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Universidad Politécnica de Valencia	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Com. Valenciana	2502182	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Universidad Politécnica de Valencia	Grado	Escuela Politécnica Superior de Alcoy
Com. Valenciana	2502182	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Universidad Politécnica de Valencia	Grado	Centro Florida Universitaria
Extremadura	2500928	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica (Rama Industrial) por la Universidad de Extremadura	Universidad de Extremadura	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Galicia	2502212	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de A Coruña	Universidad de A Coruña	Grado	Escuela Politécnica Superior
Galicia	2502251	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Universidad de Vigo	Grado	Escuela de Ingeniería Industrial
Galicia	2502251	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Universidad de Vigo	Grado	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
La Rioja	2502128	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de la Rioja	Universidad de La Rioja	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Madrid	2501331	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Alfonso X El Sabio	Universidad Alfonso X El Sabio	Grado	Escuela Politécnica Superior
Madrid	2500048	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Carlos III de Madrid	Universidad Carlos III de Madrid	Grado	Escuela Politécnica Superior
Madrid	2500519	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional de Educación a Distancia	Universidad Nacional de Educación a Distancia	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Madrid	2501440	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica	Universidad Nebrija	Grado	Escuela Politécnica Superior
Madrid	2502150	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial
Madrid	2502150	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Madrid	2501487	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica	Universidad Pontificia Comillas	Grado	Escuela Técnica Superior
Madrid	2503544	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rey Juan Carlos	Universidad Rey Juan Carlos	Grado	Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Campus de Móstoles
Murcia	2501065	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Cartagena	Universidad Politécnica de Cartagena	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Navarra	2500949	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Navarra	Universidad de Navarra	Grado	Escuela Superior de Ingenieros
Navarra	2502737	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra	Universidad Pública de Navarra	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

Comunidad Autónoma	Código de TÍTULO	Título	Universidad	Nivel académico	Centro
País Vasco	2503149	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Deusto	Universidad de Deusto	Grado	Facultad de Ingeniería
País Vasco	2500197	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Mondragón Unibertsitatea	Universidad de Mondragón	Grado	Escuela Politécnica Superior
País Vasco	2502396	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Bilbao
País Vasco	2502396	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Guipuzcoa
País Vasco	2502396	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Universidad del País Vasco	Grado	Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz

11.2. Universidades y centros ordenados por el nombre de la Universidad

Esta lista incluye la ubicación del centro (Comunidad Autónoma), el código del título, el nombre del título que adquiere el alumno al cursar el Grado en Ingeniería Mecánica y Electromecánica, la denominación de las universidades de imparten la formación, el nivel académico y el centro en el que se imparte la formación. Todos ellos ordenados por orden alfabético del nombre de la Universidad.

Universidad	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	Centro
Universidad Alfonso X El Sabio	2501331	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Alfonso X El Sabio	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Barcelona	2500896	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Autónoma de Barcelona	Grado	Escuela Universitaria Salesiana de Sarrià
Universidad Carlos III de Madrid	2500048	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Carlos III de Madrid	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad Católica de Ávila (Santa Teresa de Jesús)	2501592	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila	Grado	Facultad de Ciencias y Artes

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en
fabricación aditiva

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>Título</u>	<u>Nivel académico</u>	<u>Centro</u>
Universidad de A Coruña	2502212	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de A Coruña	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Almería	2501729	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Almería	Grado	Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Burgos	2501738	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Burgos	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Cantabria	2502455	Cantabria	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cantabria	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingenieros Industriales
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén
Universidad de Córdoba	2501800	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Córdoba	Grado	Escuela Politécnica Superior de Córdoba
Universidad de Deusto	2503149	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Deusto	Grado	Facultad de Ingeniería
Universidad de Extremadura	2500928	Extremadura	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica (Rama Industrial) por la Universidad de Extremadura	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Girona	2500841	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Girona	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Huelva	2501854	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Huelva	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Jaén)
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Linares)

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>Título</u>	<u>Nivel académico</u>	<u>Centro</u>
Universidad de La Laguna	2501898	Canarias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de La Laguna	Grado	Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Universidad de La Rioja	2502128	La Rioja	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de La Rioja	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	2502980	Canarias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles
Universidad de León	2501945	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de León	Grado	Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial
Universidad de Lleida	2501953	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Lleida	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Málaga	2502008	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Málaga	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Mondragón	2500197	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Mondragón Unibertsitatea	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Navarra	2500949	Navarra	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Navarra	Grado	Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Oviedo	2502376	Asturias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Oviedo	Grado	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Politécnica Superior de Zamora
Universidad de Sevilla	2502306	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Sevilla	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad de Valladolid	2502322	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Valladolid	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Grado	Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Grado	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín
Universidad de Zaragoza	2502485	Aragón	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Zaragoza	Grado	Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>Título</u>	<u>Nivel académico</u>	<u>Centro</u>
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Bilbao
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Guipuzcoa
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz
Universidad Jaume I de Castellón	2502271	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Jaume I de Castellón	Grado	Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales
Universidad Loyola Andalucía	2502791	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica por la Universidad Loyola Andalucía	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Sede de Sevilla)
Universidad Miguel Hernández de Elche	2501621	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Miguel Hernández de Elche	Grado	Escuela Politécnica Superior de Elche
Universidad Nacional de Educación a Distancia	2500519	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional de Educación a Distancia	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Nebrija	2501440	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica	Grado	Escuela Politécnica Superior
Universidad Politécnica de Cartagena	2501065	Murcia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Cartagena	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE)
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	Código de TITULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	<u>Centro</u>
<u>Universidad Politécnica de Valencia</u>	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	<u>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</u>
<u>Universidad Politécnica de Valencia</u>	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	<u>Escuela Politécnica Superior de Alcoy</u>
<u>Universidad Politécnica de Valencia</u>	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	<u>Centro Florida Universitaria</u>
<u>Universidad Pompeu Fabra (Campus de Mataró)</u>	2503064	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pompeu Fabra	Grado	<u>Escuela Superior Politécnica Tecnocampus</u>
<u>Universidad Pontificia Comillas</u>	2501487	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica	Grado	<u>Escuela Técnica Superior</u>
<u>Universidad Pública de Navarra</u>	2502737	Navarra	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra	Grado	<u>Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación</u>
<u>Universidad Rey Juan Carlos</u>	2503544	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rey Juan Carlos	Grado	<u>Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Campus de Móstoles</u>
<u>Universidad Rovira i Virgili</u>	2501675	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rovira i Virgili	Grado	<u>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química</u>

11.3. Universidades y centros: Tabla 1

A continuación se incluye una lista de las diferentes Universidades que imparten la formación de Grado en Ingeniería Mecánica, ordenadas por índice alfabético, en la que se muestran datos del Código del título, la Comunidad Autónoma de la Universidad, el título que adquiere el alumno una vez superados los estudios, el nivel académico del título, el centro en el que se imparte, el tipo de Universidad (privada, pública, centro asociado), la asistencia que se requiere de los alumnos (presencial, semi-presencial, no presencial) y si la formación se imparte en un idioma extranjero.

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>Título</u>	<u>Nivel académico</u>	<u>Centro</u>	<u>Título:</u>	<u>Tipo de Universidad / Centro</u>	<u>Asistencia:</u>	<u>Impartido en idioma extranjero</u>
<u>Universidad Alfonso X El Sabio</u>	2501331	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Alfonso X El Sabio	Grado	<u>Escuela Politécnica Superior</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Privada / Propio	Presencial	No
<u>Universidad Autónoma de Barcelona</u>	2500896	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Autónoma de Barcelona	Grado	<u>Escuela Universitaria Salesiana de Sarrià</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Pública / Adscrito*	Presencial	No
<u>Universidad Carlos III de Madrid</u>	2500048	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Carlos III de Madrid	Grado	<u>Escuela Politécnica Superior</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Pública / Propio	Presencial	Sí
<u>Universidad Católica de Ávila (Santa Teresa de Jesús)</u>	2501592	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila	Grado	<u>Facultad de Ciencias y Artes</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Privada / Propio	Varias modalidades	No
<u>Universidad de A Coruña</u>	2502212	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de A Coruña	Grado	<u>Escuela Politécnica Superior</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Pública / Propio	Presencial	No
<u>Universidad de Almería</u>	2501729	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Almería	Grado	<u>Escuela Superior de Ingeniería</u>	<u>Grado en Ingeniería Mecánica</u>	Pública / Propio	Presencial	No

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>Título</u>	<u>Nivel académico</u>	<u>Centro</u>	<u>Título:</u>	<u>Tipo de Universidad / Centro</u>	<u>Asistencia:</u>	<u>Impartido en idioma extranjero</u>
Universidad de Burgos	2501738	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Burgos	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Superior de Ingeniería	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Cantabria	2502455	Cantabria	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cantabria	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingenieros Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha	Grado	Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Córdoba	2501800	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Córdoba	Grado	Escuela Politécnica Superior de Córdoba	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Deusto	2503149	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Deusto	Grado	Facultad de Ingeniería	Grado en Ingeniería Mecánica	Privada / Propio	Presencial	Sí
Universidad de Extremadura	2500928	Extremadura	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica (Rama Industrial) por la Universidad de Extremadura	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica (Rama Industrial)	Pública / Propio	Presencial	No

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Universidad	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	Centro	Título:	Tipo de Universidad / Centro	Asistencia:	Impartido en idioma extranjero
Universidad de Girona	2500841	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Girona	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Huelva	2501854	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Huelva	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Jaén)	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Jaén	Grado	Escuela Politécnica Superior (Linares)	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de La Laguna	2501898	Canarias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de La Laguna	Grado	Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de La Rioja	2502128	La Rioja	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de la Rioja	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	2502980	Canarias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de León	2501945	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de León	Grado	Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Lleida	2501953	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Lleida	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Málaga	2502008	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Málaga	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Mondragón	2500197	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Mondragón Unibertsitatea	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Privada / Propio	Varias modalidades	No
Universidad de Navarra	2500949	Navarra	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Navarra	Grado	Escuela Superior de Ingenieros	Grado en Ingeniería Mecánica	Privada / Propio	Presencial	No

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	<u>Centro</u>	Título:	Tipo de Universidad / Centro	Asistencia:	Impartido en idioma extranjero
Universidad de Oviedo	2502376	Asturias	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Oviedo	Grado	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	Sí
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Salamanca	Grado	Escuela Politécnica Superior de Zamora	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Sevilla	2502306	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Sevilla	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Valladolid	2502322	Castilla y León	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Valladolid	Grado	Escuela de Ingenierías Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Grado	Escuela de Ingeniería Industrial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Vigo	Grado	Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Adscrito*	Presencial	No
Universidad de Zaragoza	2502485	Aragón	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Zaragoza	Grado	Escuela de Ingeniería y Arquitectura	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Bilbao	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela de Ingeniería de Guipuzcoa	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad del País Vasco	Grado	Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Universidad	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	Centro	Título:	Tipo de Universidad / Centro	Asistencia:	Impartido en idioma extranjero
Universidad Jaume I de Castellón	2502271	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Jaume I de Castellón	Grado	Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Loyola Andalucía	2502791	Andalucía	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica por la Universidad Loyola Andalucía	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Sede de Sevilla)	Grado en Ingeniería Electromecánica	Privada / Propio	Presencial	No
Universidad Miguel Hernández de Elche	2501621	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Miguel Hernández de Elche	Grado	Escuela Politécnica Superior de Elche	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Nacional de Educación a Distancia	2500519	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional de Educación a Distancia	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Semi / No Presencial	No
Universidad Nebrija	2501440	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica	Grado	Escuela Politécnica Superior	Grado en Ingeniería Mecánica	Privada / Propio	Varias modalidades	No
Universidad Politécnica de Cartagena	2501065	Murcia	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Cartagena	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	Sí
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE)	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	<u>Centro</u>	Título:	Tipo de Universidad / Centro	Asistencia:	Impartido en idioma extranjero
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Catalunya	Grado	Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	Escuela Politécnica Superior de Alcoy	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universitat Politècnica de València	Grado	Centro Florida Universitaria	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Adscrito*	Presencial	No
Universidad Pompeu Fabra (Campus de Mataró)	2503064	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pompeu Fabra	Grado	Escuela Superior Politécnica Tecnocampus	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Adscrito*	Presencial	No
Universidad Pontificia Comillas	2501487	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Electromecánica	Grado	Escuela Técnica Superior	Grado en Ingeniería Electromecánica	Privada / Propio	Presencial	No
Universidad Pública de Navarra	2502737	Navarra	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Pública de Navarra	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

Universidad	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	Título	Nivel académico	Centro	Título:	Tipo de Universidad / Centro	Asistencia:	Impartido en idioma extranjero
Universidad Rey Juan Carlos	2503544	Madrid	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rey Juan Carlos	Grado	Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Campus de Móstoles	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No
Universidad Rovira i Virgili	2501675	Cataluña	Graduado o Graduada en Ingeniería Mecánica por la Universidad Rovira i Virgili	Grado	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química	Grado en Ingeniería Mecánica	Pública / Propio	Presencial	No

11.4. Universidades y centros: Tabla 2

Como continuación de la tabla anterior se presenta una lista de las diferentes Universidades que imparten la formación de Grado en Ingeniería Mecánica, ordenadas por índice alfabético, en la que se ha mantenido el Código del título la Comunidad Autónoma de la Universidad, y además se añaden vínculos en los que se pueden consultar tanto los planes de estudio de la titulación como el contenido de la asignatura de Ingeniería de Fabricación. En la columna “Asignatura” se muestra las distintas denominaciones asignadas a la asignatura en función de las distintas Universidades. Por último se muestra en cada caso en qué curso lectivo se imparte la asignatura, si ésta es de carácter obligatorio u opcional, su duración en el curso lectivo y el número de créditos ETCS que la Universidad le asigna en cada caso.

Universidad	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	plan de estudios	Asignatura	Curso en el que se imparte	Carácter	Duración	Créditos Totales
Universidad Alfonso X El Sabio	2501331	Madrid	https://www.uax.es/grado-en-ingenieria-mecanica.html https://www.uax.es/grado-en-ingenieria-mecanica.html#c11724	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	anual	9

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>plan de estudios</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Curso en el que se imparte</u>	<u>Carácter</u>	<u>Duración</u>	<u>Créditos Totales</u>
Universidad Autónoma de Barcelona	2500896	Cataluña	https://www.uab.cat/web/estudiar/listado-de-grados/plan-de-estudios/estructura-del-plan-de-estudios/ingenieria-mecanica-escuela-adscrita-1345467893054.html?param1=1232089767987	Ingeniería de Procesos de Fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad Carlos III de Madrid	2500048	Madrid	https://www.uc3m.es/ss/Satellite/Grado/es/Detalle/Estudio_C/1371212559812/1371212987094/Grado_en_Ingenieria_Mecanica#programa	Tecnología Mecánica	3	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad Católica de Ávila (Santa Teresa de Jesús)	2501592	Castilla y León	https://www.ucavila.es/grado-ingenieria-mecanica-presencial/	Metrología, calidad y procesos de fabricación	4	Obligatoria	1º semestre	8
Universidad de A Coruña	2502212	Galicia	http://estudios.udc.es/es/study/detail/730G03V01#plan-structure	Tecnologías de fabricación	3	Obligatoria	1º cuatrimestre	6
Universidad de Almería	2501729	Andalucía	http://cms.ual.es/UAL/estudios/grados/plandeestudios/GRADO2910	Tecnología de la Fabricación	1	Obligatoria	1º cuatrimestre	6
Universidad de Burgos	2501738	Castilla y León	https://www.ubu.es/grado-en-ingenieria-mecanica/informacion-basica/plan-de-estudios	Tecnología mecánica I	3	Obligatoria	6º semestre	6
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	http://www.uca.es/wp-content/uploads/2017/05/PE-Ingenieria-Mecanica_PR.pdf	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	4º semestre	6
Universidad de Cádiz	2503077	Andalucía	http://www.uca.es/wp-content/uploads/2018/03/PE-EPSA-G.-en-Ingenieria-Mecanica-feb18	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	4º semestre	6
Universidad de Cantabria	2502455	Cantabria	https://web.unican.es/estudios/asignaturas?p=109&c=2018	Procesos de fabricación I	3	Obligatoria	6º semestre	6
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	http://edii.uclm.es/ediinet2/infAsignaturas.php?carrera=1	Tecnología de fabricación	3	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	http://etsii-cr.uclm.es/index.php/gradoingmecanica/	Tecnología de fabricación	3	Obligatoria	2º cuatrimestre	6

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>plan de estudios</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Curso en el que se imparte</u>	<u>Carácter</u>	<u>Duración</u>	<u>Créditos Totales</u>
Universidad de Castilla-La Mancha	2502467	Castilla-La Mancha	http://eimia.uclm.es/archivos/laescuela/planes/imecanica.php#titulo_grado	Tecnología de fabricación	3	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Córdoba	2501800	Andalucía	http://www.uco.es/grados/grado-en-ingenieria-mecanica http://www.uco.es/grados/images/documentos/grados_centro_EPS_cordoba/grado i mecanica/adscricion I mecanica 170126.pdf	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Deusto	2503149	País Vasco	https://www.deusto.es/cs/Satellite/deusto/es/nuevos-estudiantes-de-grado/estudios-grados/ingenieria-mecanica/plan-de-estudios-20/info-prog?idSeccion=2	Sistemas de fabricación	3	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad de Extremadura	2500928	Extremadura	https://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/eii/titulaciones/info/plan_estudios?id=0818	Procesos de fabricacion I	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad de Girona	2500841	Cataluña	https://www.udg.edu/ca/estudia/Oferta-formativa/Graus/Fitxes?IDE=852&ID=3105G0409 http://www.uhu.es/planificacion_personal_docente/titulaciones/etsi/boe-modif.octubre17.pdf	Manufacturing processes 1	3	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad de Huelva	2501854	Andalucía	http://www.uhu.es/etsi/informacion-academica/informacion-comun-todos-los-titulos/guias-docentes/guias-docentes-2018-2019/listado-guias/?grado=7&curso=2018	Tecnología mecánica I (y II)	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	https://www.uja.es/estudios/oferta-academica/grados/grado-en-ingenieria-mecanica-eps-jaen#informacion-academica	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Jaén	2501880	Andalucía	https://www.uja.es/estudios/oferta-academica/grados/grado-en-ingenieria-mecanica-eps-linares#informacion-academica	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	1º cuatrimestre	6
Universidad de La Laguna	2501898	Canarias	https://www.ull.es/grados/ingenieria-mecanica/plan-de-estudios/estructura-del-plan-de-estudios/	Tecnología de los procesos de fabricación	2	Obligatoria	1º cuatrimestre	6
Universidad de La Rioja	2502128	La Rioja	https://www.unirioja.es/estudios/grados/mecanica/guias.shtml	Tecnología de fabricación	2	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	2502980	Canarias	http://www2.ulpgc.es/index.php?pagina=plan_estudio&ver=pantalla_&numPantalla=03&codTitulacion=4042&codPlan=40&tipotitulacion=G	Fundamentos de fabricación y producción	2	Obligatoria	1º semestre	4,5

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	plan de estudios	Asignatura	Curso en el que se imparte	Carácter	Duración	Créditos Totales
Universidad de León	2501945	Castilla y León	https://www.unileon.es/estudiantes/estudiantes-grado/oferta-de-estudios/planes?titula=0708	Ingeniería de fabricación	3	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad de Lleida	2501953	Cataluña	http://www.graumecanica.udl.cat/es/pla-formatiu/pla-estudis-guies-docents.html	Tecnologías de fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad de Málaga	2502008	Andalucía	http://www.uma.es/media/tinyimages/file/ANEXO_Grado_en_Ingenieria_Mec%C3%A1nica_publicacion_BOE.pdf	Ingeniería de fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Mondragón	2500197	País Vasco	https://www.mondragon.edu/es/grado-ingenieria-mecanica/plan-estudios	Tecnologías de Fabricación	2	Obligatoria	1º semestre	4,5
Universidad de Navarra	2500949	Navarra	http://www4.tecnun.es/grado-en-ingenieria-mecanica/plan-de-estudios-2016.html	Tecnología de fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	4,5
Universidad de Oviedo	2502376	Asturias	http://www.epigijon.uniovi.es/index.php/ver-todos-los-grados/37-grado-ingenieria-mecanica/40-grado-en-ingenieria-mecanica-old	Procesos de Fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	https://guias.usal.es/node/42915/Asignaturas-Primer-Curso	Tecnología de producción y fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad de Salamanca	2502285	Castilla y León	https://guias.usal.es/node/44914/Asignaturas-Primer-Curso	Ingeniería de los procesos de fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad de Sevilla	2502306	Andalucía	http://www.us.es/estudios/grados/plan_207?p=7	Procesos de Fabricación	2	Obligatoria	2º cuatrimestre	6
Universidad de Valladolid	2502322	Castilla y León	http://www.uva.es/export/sites/uva/2.docencia/2.01.grados/2.01.02_ofertaformativagrados/2.01.02.01.alfabetica/grado-en-ingenieria-mecanica/	Sistemas de producción y fabricación	2	Obligatoria	1º cuatrimestre	4,5
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	https://secretaria.uvigo.gal/docnet-nuevo/guia_docent/?centre=312&ensenyament=V12G380V01&consulta=assignatures&idioma=cast	Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación	2	Obligatoria	1º cuatrimestre	6

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>plan de estudios</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Curso en el que se imparte</u>	<u>Carácter</u>	<u>Duración</u>	<u>Créditos Totales</u>
Universidad de Vigo	2502251	Galicia	https://cud.uvigo.es/index.php?Itemid=61&id=51&option=com_content&view=article https://estudios.unizar.es/estudio/ver?id=149&anyo_academico=2018	Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación	4	Obligatoria	1º cuatrimestre	6
Universidad de Zaragoza	2502485	Aragón	https://estudios.unizar.es/estudio/asignaturas?anyo_academico=2018&estudio_id=20180149&centro_id=110&plan_id_nk=434&sort=cursos	Tecnologías de fabricación I y II	2	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	https://www.ehu.es/es/grado-ingenieria-mecanica-bizkaia/creditos-y-asignaturas-por-curso	Sistemas de Producción y Fabricación	2	Obligatoria	Cuatrimstral (2ºC)	6
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	https://www.ehu.es/es/grado-ingenieria-mecanica-gipuzkoa/creditos-y-asignaturas-por-curso	Sistemas de Producción y Fabricación	2	Obligatoria	Cuatrimstral (2ºC)	6
Universidad del País Vasco	2502396	País Vasco	https://www.ehu.es/es/grado-ingenieria-mecanica-alava/creditos-y-asignaturas-por-curso	Sistemas de Producción y Fabricación	2	Obligatoria	Cuatrimstral (2ºC)	6
Universidad Jaume I de Castellón	2502271	Com. Valenciana	http://www.universia.es/estudios/universitat-jaume-i-castello/grado-ingenieria-mecanica/st/219921	Tecnologías de Fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad Loyola Andalucía	2502791	Andalucía	https://www.uloyola.es/grados/ingenieria/grado-en-ingenieria-electromecanica/plan-de-estudios	Tecnologías de Fabricación	3	Obligatoria	5º semestre	6
Universidad Miguel Hernández de Elche	2501621	Com. Valenciana	https://www.umh.es/contenido/pas/:tit_g_143_S1/datos_es.html	Ingeniería de fabricación	3	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad Nacional de Educación a Distancia	2500519	Madrid	http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,61703779&_dad=portal&_schema=PORTAL&idGrado=6803	Tecnologías de Fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	5
Universidad Nebrija	2501440	Madrid	https://www.nebrija.com/carreras-universitarias/grado-ingenieria-mecanica/#planEstudios	Industrial Processes I	4	Obligatoria	1º semestre	6
Universidad Politécnica de Cartagena	2501065	Murcia	https://www.upct.es/estudios/grado/5081/plan_estudios.php	Ingeniería de fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	6

ANEXO 2: Lista de universidades y centros consultados

<u>Universidad</u>	<u>Código de TÍTULO</u>	<u>Comunidad Autónoma</u>	<u>plan de estudios</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Curso en el que se imparte</u>	<u>Carácter</u>	<u>Duración</u>	<u>Créditos Totales</u>
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-mecanica-barcelona-eebe	Fabricación	3	Obligatoria	6º cuatrimestre	6
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-mecanica-vilanova-i-la-geltru-epsevg	Procesos de Fabricación	2	Obligatoria	4º cuatrimestre	6
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-mecanica-manresa-epsem	Tecnología Mecánica	3	Obligatoria	6º cuatrimestre	6
Universidad Politécnica de Cataluña	2501218	Cataluña	https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-mecanica-terrassa-eseiaat	Ingeniería de Procesos de Fabricación	4	Obligatoria	7º semestre	6
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	http://www.etsidi.upm.es/Estudiantes/EstudiosTitulaciones/ETTituloGrado/ETTitulosOficialesGrado/GradIngMecanica	Tecnologías de fabricación	2	Obligatoria	4º semestre	4,5
Universidad Politécnica de Madrid	2502150	Madrid	http://www.etsii.upm.es/estudios/grados/ingenieria_mecanica.es.htm	Fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	4,5
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	http://www.upv.es/titulaciones/GIM/menu_1015238c.html	Sistemas y Procesos de Fabricación	3	Obligatoria	1º semestre	4,5
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	http://www.upv.es/titulaciones/GIM-A/menu_1013927c.html	Sistemas de Producción y Fabricación Industrial	2	Obligatoria	1º semestre	4,5
Universidad Politécnica de Valencia	2502182	Com. Valenciana	http://www.floridauniversitaria.es/es-ES/OfertaAcademica/grados/Paginas/Plan-de-estudios.aspx?Perfil=Florida+Universitaria&Grado=Grado+en+Ingenier%C3%ADa+Mec%C3%A1nica	Sistemas de Producción y Fabricación Industrial	3	Obligatoria	1º semestre	4,5
Universidad Pompeu Fabra (Campus de Mataró)	2503064	Cataluña	https://www.tecnocampus.cat/es/grado/ingenieria-mecanica/plan-estudios	Procesos de conformación	3	Obligatoria	3º trimestre	4
Universidad Pontificia Comillas	2501487	Madrid	https://www.comillas.edu/grados/grado-en-ingenieria-en-tecnologias-industriales-giti	Ingeniería de fabricación	3	Obligatoria	2º semestre	4,5

Antecedentes, análisis y prospectiva de la enseñanza universitaria española en fabricación aditiva

<u>Universidad</u>	Código de TÍTULO	Comunidad Autónoma	plan de estudios	Asignatura	Curso en el que se imparte	Carácter	Duración	Créditos Totales
Universidad Pública de Navarra	2502737	Navarra	http://www.unavarra.es/ets-industrialesytelecos/estudios/grado/grado-ingenieria-mecanica/plan-estudios?submenu=yes	Tecnología de fabricación mecánica	3	Obligatoria	6º semestre	6
Universidad Rey Juan Carlos	2503544	Madrid	https://www.urjc.es/estudios/grado/2461-ingenieria-mecanica#plan-de-estudios	Procesos de fabricación I	2	Obligatoria	2º semestre	6
Universidad Rovira i Virgili	2501675	Cataluña	https://moodle.urv.cat/docnet/guia_docent/?centre=20&ensenyament=2022&consulta=assignatures&idioma=cast	Tecnología mecánica	3	Obligatoria	2º cuatrimestre	6

**12. ANEXO 3: CONTENIDOS DE LA
ASIGNATURA DE INGENIERIA DE
FABRICACIÓN DE LAS
UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS QUE
IMPARTEN GRADO EN INGENIERÍA
MECÁNICO O ELECTROMECAÁNICA**

A continuación se expone el temario de la asignatura relacionada con los procesos de fabricación, publicado por cada una de las universidades que imparten el Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica en España. El trabajo de compilado se realiza mediante la consulta de cada una de las páginas web de las respectivas universidades en el año 2018 y 2019.

Esta asignatura se ha denominado ingeniería de fabricación en todo el trabajo aunque como se aprecia en este ANEXO 3, los títulos elegidos por la diversas universidades son distintos: Ingeniería de procesos de fabricación, Tecnología mecánica, Metrología, calidad y procesos de fabricación, Tecnologías de la Fabricación, Ingeniería de fabricación, Procesos de fabricación, Sistemas de fabricación, Tecnologías de fabricación, Fundamentos de fabricación y producción, Tecnología de materiales, Procesos de Fabricación, Tecnología de producción y fabricación, Sistemas de producción y fabricación, Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación, Procesos industriales, Sistemas y Procesos de Fabricación, Procesos de conformación.

Se dispone de un documento que reúne la información referente a los planes de estudio de la titulación Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica de los centros que imparten dicha formación en España. Los autores han decidido no incorporar a este documento dicha información debido a su extensión, pero se aporta como documento independiente puesto que la información es interesante. Por otra parte, los planes de estudio publicados pueden consultarse a través de los vínculos insertados en las tablas del ANEXO 2.

12.1. Universidad Alfonso X el Sabio (Ingeniería de fabricación_9 ETCS)

1. Clasificación de sistemas y procesos de fabricación
2. Procesos de preformas: fundición y deformación de metales
3. Procesos de arranque de material (fresado, torneado, taladrado, rectificado, electroerosión y otros). Máquinas de control numérico. Fundamentos de la fabricación asistida. Introducción a los Sistemas CAM.
4. Programación manual de control numérico.
5. Teoría de corte.
6. Diseño y optimización de procesos de mecanizado.
7. Prácticas de colada, metrología, programación por control numérico.

12.2. Universidad Autónoma de Barcelona (Ingeniería de procesos de fabricación_6 ETCS)

Tema 0. Presentación de la asignatura

Repaso de Materiales

Objetivo de la asignatura

Tema 1. Procesos de conformado de metales

1.1. Clasificación de materiales metálicos

1.2. Materias primas y semielaborados

1.3. Moldeo

1.4. Conformado en fase sólida

1.4.1 Forja

1.4.2 Estirado, Extrusión y Laminado

1.4.3 Conformado de chapa

1.5. Tratamientos Térmicos

1.6. Soldadura

1.7. Tratamientos Superficiales

Tema 2. Procesado de cerámicas

2.1. Clasificación de Materiales Cerámicos

2.2 Materias primas y semielaborados

2.3. Sinterizado.

2.4. Procesado de vidrios

2.5. Procesado de vitrocerámicas

2.6. Pulvimetalurgia

Tema 3. Conformado de plásticos

3.1 Clasificación de Materiales Plásticos

3.2 Materias primas

3.1. Extrusión

3.2. Inyección

3.3. Producción de films, espumas, fibras y partes huecas

3.4. Adhesivos

3.5. Fabricación de composites

Tema 4. Planificación de procesos

12.3. Universidad Carlos III de Madrid (Tecnología mecánica_6 ETCS)

Capítulo 1. Introducción a la Tecnología Mecánica

Tema 1. Sistemas y procesos de fabricación. Costes de fabricación

Tema 2. Diseño y fabricación de productos. Definición de procesos de fabricación.

Capítulo 2. Metrología y Control de Calidad

Tema 3. Conceptos generales de Metrología. Metrología dimensional.

Tema 4. Control de calidad en actividades productivas.

Capítulo 3. Conformado por moldeo

Tema 5. Sistemas y procesos de conformado por moldeo: moldes.

Capítulo 4: Fabricación de productos de plástico

Tema 6. Sistemas y procesos de fabricación de productos de plástico.

Capítulo 5. Conformado por deformación plástica

Tema 7. Introducción. Deformación plástica. Endurecimiento por deformación.

Tema 8. Laminación.

Tema 9. Prensas.

Tema 10. Punzonado y cizallado. Otros procedimientos de corte.

Tema 11. Plegado.

Tema 12. Embutición.

Tema 13. Perfilado.

Tema 14. Extrusión. Forja y estampado.

Capítulo 6. Conformado por arranque de viruta

Tema 15. Clasificación de los procesos de mecanizado. Parámetros de corte.

Tema 16. Herramientas de corte. Desgaste. Taylor.

Tema 17. Tiempos y costes de mecanizado.

Tema 18. Procesos de torneado: Máquinas, herramientas y operaciones.

Tema 19. Procesos de fresado: Máquinas, herramientas y operaciones.

Tema 20. Procesos de taladrado. Operaciones complementarias.

Tema 21. Rectificado y otros procesos de acabado.

Capítulo 7. Fabricación automatizada

Tema 22. Automatización de sistemas de fabricación rígidos y flexibles.

Tema 23. Máquinas CNC. Sistemas de control. Ejes y sistemas de referencia.

Tema 24. Programación ISO: Funciones.

Tema 25. Programación ISO: Ciclos fijos. Tabla de herramientas.

Tema 26. Sistemas CAD/CAM/CAE

Capítulo 8. Soldadura

12.4. Universidad Católica Santa Teresa de Jesús de Ávila (Metrología, calidad y procesos de fabricación_8 ETCS)

UNIDAD 1. INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA

1.1. Definiciones previas

1.2. Evolución de los sistemas de unidades

1.3. Sistema Internacional de Unidades

1.4. Clases de unidades

1.5. Patrones metrológicos

1.6. Ámbito de la metrología dimensional: tolerancia e incertidumbre

1.7. Errores de medida. Clasificación

1.8. Causas de error

1.9. Criterios de rechazo

1.10. Métodos de medida

UNIDAD 2. MEDIDAS DE LONGITUD

- 2.1. Instrumentos de medida de longitud
- 2.2. Patrones de longitud
- 2.3. Instrumentos de medida de ángulos
- 2.4. Patrones de ángulo
- 2.5. Interferometría

UNIDAD 3. TOLERANCIA DE MEDIDAS Y AJUSTES

- 3.1. Tolerancias
- 3.2. Sistema ISO de tolerancias y ajustes: elementos fundamentales
- 3.3. Desviaciones y tolerancias en el sistema ISO
- 3.4. Ajustes. Clases

UNIDAD 4. MEDIA DE FORMAS. PLANITUD, RECTITUD Y REDONDEZ

- 4.1. Planitud
- 4.2. Rectitud
- 4.3. Redondez
- 4.4. Medida de formas. Figuras

UNIDAD 5. MICROGEOMETRÍA. MEDIDA DE LA CALIDAD SUPERFICIAL

- 5.1. Parámetros característicos
- 5.3. Métodos e instrumentos para medida de rugosidad

UNIDAD 6. CALIDAD

- 6.1. Proceso productivo
- 6.2. Definición de calidad
- 6.3. Calidad de concordancia
- 6.4. Sistemas de gestión de calidad
- 6.5. Norma ISO 9001:2008
- 6.6. Reparar, corregir, prevenir
- 6.7. Poka yoke
- 6.8. Kaizen

UNIDAD 7. PROCESOS DE FABRICACIÓN

- 7.1. Proceso de fabricación
- 7.2. Procesos de fabricación
- 7.3. Fundición de metales
- 7.4. Procesos de conformado de plásticos
- 7.5. Procesamiento de polvos
- 7.6. Formado y trabajo de metales
- 7.7. Procesos de arranque de material

**12.5. Universidad de A Coruña (Tecnologías de la
Fabricación_6 ETCS)**

1. Introducción a la ingeniería de fabricación

- 1.1. Introducción
- 1.2. Selección de materiales y procesos

2. Introducción a la metrología y al control de calidad

- 2.1. Introducción a la metrología
- 2.2. Introducción al control de calidad

3. Descripción de los procesos de fabricación y sus características tecnológicas

- 3.1. Conformación por moldeo: materiales metálicos y plásticos
- 3.2. Conformación por deformación plástica
- 3.3. Mecanizado: Tecnología de mecanizado, torneado, fresado, taladrado, rectificado.

4. Métodos de unión Soldadura

- 4.1. Unión con adhesivos
- 4.2. Sujeción mecánica

12.6. Universidad de Almería (Tecnología de la Fabricación_6 ETCS)

Tema 1. Introducción

Tema 2. Sistemas de Fabricación

Tema 3. Programación de Máquinas-Herramientas Mediante Código Numérico

Tema 4. Programación de Máquinas-Herramienta Mediante Simuladores y Programas CAD/CAM. Análisis de la Fabricabilidad de Componentes

Tema 5. Introducción al Mecanizado de Alta Velocidad y Alta Precisión

Tema 6. Sistemas de Fabricación Flexible

Tema 7. Soldadura

Tema 8. Otros Métodos de Fabricación

Tema 9. Tecnologías de Superficie. Acabado Superficial

Tema 10. Introducción a la Metrología y al Control de Calidad

Tema 11. Propiedad Industrial

Practica 1. Oxicorte

Practica 2. Programación y Manejo de Máquinas-Herramienta CNC

Practica 3. Equipos de metrología.

12.7. Universidad de Burgos (Tecnología mecánica I_6 ETCS)

INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA

- 1. Introducción.
- 2. El ensayo de tracción.
 - 2.1. Curva de tensiones deformaciones convencional o tecnológica.
 - 2.2. Curva de fluencia.
- 3. Comportamiento elástico de los metales.
 - 3.1. Tensiones en un punto.

- 3.2. Estado plano de tensiones.
- 3.3. Círculo de Mohr en un estado plano de tensiones.
- 3.4. Estado de tensiones tridimensional.
- 3.5. Círculo de Mohr en tres dimensiones.
- 3.6. Tipos de deformación.
- 3.7. Relación entre tensiones y deformaciones.
- 3.8. Componentes esféricos o desviadores de tensiones y deformaciones.
- 4. Criterios de fluencia en metales dúctiles.
 - 4.1. Criterio de Tresca.
 - 4.2. Criterio de Von Misses.
- 5. Comportamiento plástico de los metales.
 - 5.1. Justificación y objetivos de los procesos de deformación plástica.
 - 5.2. Ensayos para determinar la tensión de fluencia.
 - 5.3. Carga requerida para producir la fluencia en deformación homogénea.
 - 5.4. Fórmula del trabajo para el cálculo de las cargas en deformación homogénea.
 - 5.5. Teoría de los campos de líneas de deslizamiento.
 - 5.6. Efecto de la temperatura en los procesos de deformación.
 - 5.7. Efecto de la velocidad de deformación en los procesos de deformación plástica.
 - 5.8. Rozamiento y lubricación.

FORJA

- 1. Descripción del proceso.
- 2. Cálculo de los esfuerzos en la forja.
 - 2.1. Forja libre.
- 3. Estampación.
- 4. Recalcado y encabezamiento

LAMINACIÓN

- 1. Descripción del proceso.
- 2. Variaciones del proceso.
- 3. Fuerzas y relaciones geométricas en la laminación.
- 4. Cálculo aproximado de la carga, tórsor y potencia de laminación en deformación homogénea.

ESTIRADO

- 1. Descripción del proceso. Análisis elemental de los esfuerzos de estirado.

EXTRUSIÓN CONTINUA DE METALES

- 1. Descripción del proceso.
- 2. Variaciones del proceso básico.
- 3. Análisis elemental de los esfuerzos en la extrusión.

DOBLADO Y CURVADO DE CHAPA

1. Definición.
2. Problemas fundamentales del doblado.
3. Radio mínimo de doblado.
4. Determinación de la fibra neutra.
5. Cálculo de desarrollos.
6. Marcado de piezas.
7. Cálculo de esfuerzos en el doblado.
8. Recuperación elástica.
9. Procedimientos de doblado.
10. Máquinas de doblado.
11. Otras operaciones de doblado.

CIZALLADO, CORTE Y PUNZONADO

1. Definición del proceso.
2. Operaciones de corte de chapa.
3. Cizallado.
4. Relación entre el espesor de la chapa y las dimensiones de la sección transversal del punzón.
5. Partes de un troquel.
6. Juego entre el punzón y la matriz.
7. Aprovechamiento de la chapa.
8. Cálculo de los esfuerzos en el troquelado.
9. Cálculo a pandeo del punzón.
10. Clasificación estructural de los punzones.

EMBUTICIÓN

1. Definición.
2. Redondeo de la matriz y del punzón.
3. Juego entre la matriz y el punzón.
4. Cálculo del disco primitivo.
5. Cálculo del número de embuticiones.
6. 6 Fuerzas de embutición y del prensachapas.
7. Velocidades de embutición.
8. Lubricación.
9. Defectos de piezas embutidas.

EL TORNO

1. La máquina herramienta.
2. Sistemas de ejes para las máquinas – herramienta.
3. Torno paralelo: descripción y terminología normalizada.

4. Contracabezal.
5. Carros.
6. Cadena cinemática para mover los carros.
7. Avances del carro principal. 8. Avances del carro transversal.

GEOMETRÍA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

1. Introducción.
2. Herramienta monocorte.
3. Normativa ISO para la nomenclatura de herramientas de corte.
4. Influencia de los ángulos efectivos en el mecanizado.
5. Herramientas de perfil constante.
6. Nomenclatura de las herramientas del torno.
7. Rompevirutas.

MATERIALES DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

1. ¿Cómo elegir el material de la herramienta?
2. Propiedades generales de los materiales de herramientas de corte.
3. Materiales utilizados en la construcción de herramientas de corte.
4. Estudio del corte. 5. Elección de las cuchillas en el trabajo en serie.
5. Desgaste de las herramientas de corte.

VELOCIDAD DE CORTE

1. Introducción.
2. Velocidad de corte.
3. Teoría de Taylor.
4. Ecuación de Taylor generalizada.
5. Teoría de Kronenberg.
6. Teoría de Denis.
7. Economía del mecanizado.

ESFUERZOS DE CORTE

1. Introducción.
2. Geometría del corte.
3. Tipos de viruta y modelos de estudio de los esfuerzos de corte.
4. Modelo del plano de cizallamiento.
5. Corte tridimensional.
6. Método de la presión específica de corte.
7. Potencia de corte.
8. Tiempos de mecanizado.

OPERACIONES DE TORNEADO

1. Introducción.
2. Cilindrado.
3. Refrentado.

4. Ranurado y tronzado.
5. Torneado excéntrico.
6. Moleteado.
7. Torneado de forma.
8. Grado de rugosidad en el torneado.
9. Cálculo y construcción de conos.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

1. Terminología.
2. Calibración.
3. Métodos de medida.
4. Ley de propagación de la incertidumbre o ley de propagación de las varianzas.
5. Evaluación de la incertidumbre de medida de las estimaciones de entrada.
Estimación de la incertidumbre típica.
 - 5.1. Evaluación de la incertidumbre típica tipo A.
 - 5.2. Evaluación de la incertidumbre típica tipo B.
 - 5.3. Magnitudes de entrada relacionadas con más de una fuente de incertidumbre.
 - 5.4. Magnitudes de entrada correlacionadas.
 - 5.4.1. Estimación de la covarianza mediante relaciones funcionales entre las variables correlacionadas y las que influyen sobre ellas.
 - 5.4.2. Estimación de la covarianza a partir de “n” pares de observaciones, independientes, repetidas y simultáneas.
6. Cálculo de la incertidumbre expandida.
 - 6.1. Cálculo del coeficiente de cobertura a través de la distribución normal.
 - 6.2. Cálculo del coeficiente de cobertura a partir de la distribución t de Student.
7. Expresión del resultado de medida.

CALIBRACIÓN

1. Calibración.
2. Calibración local o calibración de un punto de la escala del instrumento.
 - 2.1. Operación de calibración.
 - 2.2. Cálculo de la incertidumbre de medida en el entorno del punto calibrado.
3. Calibración global del instrumento de medida.
 - 2.3. Método de la interpolación lineal.
 - 2.4. Método de la corrección común.
 - 2.5. Método de la incertidumbre máxima.
3. Instrumentos de doble sentido de medida.
4. Incertidumbre propia de un instrumento de medida.
5. Criterios de rechazo

MEDIDAS INDIRECTAS

1. Medidas indirectas: Cotas y ángulos.
 - 1.1. Medición de cotas conociendo ángulos.

- 1.2. Cálculo de ángulos conocidas cotas.
- 1.3. Medida de cotas y ángulos por medio de calzos.
- 2. Medida de radios.
 - 2.1. Método de los dos rodillos.
 - 2.2. Método de la sonda de rodillos fijos.
 - 2.3. Método de las tres coordenadas.
 - 2.4. Método de la cuerda y la flecha.
 - 2.5. Medida de lentes con el esferómetro.
- 3. Conicidad e inclinación.
 - 3.1. Medición y verificación de conos.

MEDICIÓN DE ROSCAS

- 1. Definición.
- 2. Terminología normalizada.
- 3. Clasificación de las roscas.
- 4. Sistemas de roscas.
 - 4.1. Sistema Whitworth.
 - 4.2. Sistema Sellers.
 - 4.3. Rosca métrica ISO.
 - 4.4. Series de diámetros y pasos ISO.
 - 4.5. Tolerancias de las roscas del sistema ISO.
 - 4.6. Tolerancias para las calidades de tolerancia del tornillo.
 - 4.7. Tolerancias para las calidades de tolerancia de la tuerca.
 - 4.8. Posiciones de tolerancia de la rosca ISO.
 - 4.9. Designación completa de la rosca métrica ISO. Medición y verificación de roscas.
 - 4.9.1. Medición de roscas exteriores.
 - 4.9.2. Medición del diámetro exterior.
 - 4.9.3. Medición del diámetro interior.
 - 4.9.4. Medición del diámetro medio.
 - 4.9.5. Medición del ángulo de la rosca.
 - 4.9.6. Medición del paso de la rosca.
 - 4.9.7. Medición de roscas interiores.

MEDICIÓN DE RUEDAS DENTADAS

- 1. Introducción.
- 2. Clasificación de las ruedas dentadas.
- 3. Ruedas cilíndricas de dientes rectos. Terminología normalizada.
 - 3.1. Cálculo de las magnitudes fundamentales.
- 4. Engranajes cilíndricos de dientes helicoidales.
- 5. Ruedas dentadas cónicas de dientes rectos.
- 6. Verificación de ruedas dentadas.

7. Medición del espesor del diente.
 - 7.1. Medición del espesor cordal por medio del pie de rey de doble corredera.
 - 7.2. Medición del espesor base por medio del micrómetro de patillos.
8. Medición del paso.
9. Verificación de la forma del perfil.
10. Medida de la excentricidad.
11. Medida de la distorsión.

PRÁCTICAS

PRÁCTICA 1. Calibración del pie de rey

PRÁCTICA 2. Calibración del micrómetro de exteriores

PRÁCTICA 3. Medición de un cono exterior

PRÁCTICA 4. Medición de un cono interior

PRÁCTICA 5. Medición de una rosca

PRÁCTICA 6. Medición de una rueda dentada cilíndrica de dientes rectos

12.8. Universidad de Cádiz (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

1. Bloque 1. Sistemas de Fabricación

- 1.1. Lección 1.1. Sistemas, Procesos y Tecnologías de Fabricación.
- 1.2. Lección 1.2. Aplicaciones Informáticas en Ingeniería de Fabricación. Sistemas CAD/CAM/CAE y CIM.
- 1.3. Lección 1.3. Introducción a la Planificación y Análisis de Sistemas de Fabricación.
- 1.4. Lección 1.4. Sistemas de Fabricación Emergentes.

2. Bloque 2. Metrología.

- 2.1. Lección 2.1. Fundamentos de Metrología. Metrología Dimensional.
- 2.2. Lección 2.2. Metrología de Longitudes, Ángulos y Formas.
- 2.3. Lección 2.3. Metrología del Acabado Superficial.
- 2.4. Lección 2.4. Ajustes y Tolerancias.
- 2.5. Lección 2.5. Metrología y Control de Calidad en Fabricación.

3. Bloque 3. Tecnologías y Procesos de Conformado con Eliminación de Material.

- 3.1. Lección 3.1. Introducción. Procesos de Conformado con Eliminación de Material.
- 3.2. Lección 3.2. Procesos Convencionales de Mecanizado.
- 3.3. Lección 3.3. Herramientas de Corte.
- 3.4. Lección 3.4. Fundamentos Teóricos del Mecanizado.
- 3.5. Lección 3.5. Desgaste y Vida de la Herramienta.
- 3.6. Lección 3.6. Procesos no Convencionales de Mecanizado.

- 4. Bloque 4. Tecnologías y Procesos de Conformado con Conservación de Material.**
 - 4.1. Lección 4.1. Introducción. Procesos de Conformado con Conservación de Material.
 - 4.2. Lección 4.2. Fundamentos y Tecnologías de los Procesos de Conformado PCCM por Consolidación.
 - 4.3. Lección 4.4. Fundamentos y Tecnologías de los Procesos de Conformado PCCM por Deformación Plástica.
- 5. Bloque 5. Tecnologías de Unión.**
 - 5.1. Lección 5.1. Introducción. Tecnologías de Unión.
 - 5.2. Lección 5.2. Tecnologías de los Procesos de Montaje.
 - 5.3. Lección 5.3. Tecnologías de los Procesos de Soldadura.
- 6. Bloques de Prácticas (sesiones de 2 horas)**
 - 6.1. Práctica 1. Diseño del Producto.
 - 6.2. Práctica 2. Tecnología de Conformado 1.
 - 6.3. Práctica 3. Metrología.
 - 6.4. Práctica 4. Tecnología de Conformado 2.
 - 6.5. Práctica 5. Tecnología de Conformado 3 y Control de Calidad.

12.9. Universidad de Cantabria (Procesos de fabricación I_6 ETCS)

- 1. Metrología dimensional.**
 - 1.1. Unidades e incertidumbre, equipos de medida y patrones, tolerancias dimensionales y ajustes, tolerancias geométricas y acabado superficial.
- 2. Equipos utilizados y procedimientos aplicados durante el proceso de verificación de una Máquina Herramienta.**
- 3. Soldadura y procedimientos.**
 - 3.1. Las construcciones metálicas soldadas.
 - 3.2. Procesos de soldadura.
 - 3.3. Soldadura por arco eléctrico.
 - 3.4. Códigos.
- 4. Control de calidad en la fabricación de componentes mecánicos.**
 - 4.1. Procedimientos y Técnicas aplicadas.
 - 4.2. Equipos utilizados.

12.10. Universidad de Castilla-La Mancha (Tecnología de fabricación_6 ETCS)

Tema 1: Aspectos tecnológicos de los sistemas de fabricación.

Tema 2: Conformado por eliminación de material.

Tema 3: Conformado por deformación plástica.

Tema 4: Conformado por moldeo.

Tema 5: Conformado por unión de partes.

Tema 6: Metrología dimensional.

Tema 7: Control de calidad en fabricación.

12.11. Universidad de Córdoba (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

Contenidos teóricos

1. Bloque I. Procesos y sistemas de fabricación

1.1. Tema 1. Introducción a la Ingeniería de Fabricación.

2. Bloque II. Metrología básica e incertidumbres

2.1. Tema 2. Introducción a la Metrología Dimensional

2.2. Tema 3. Errores e Incertidumbres

2.3. Tema 4. Medición dimensional: instrumentos básicos

3. Bloque III. Principios de fabricación por fusión y deformación

3.1. Tema 5. Principios moldeo. Moldeo en arena. Moldeo en moldes durables.
Microfusión

3.2. Tema 6. Tecnología de la fusión. Tecnología de la colada

3.3. Tema 7. Pulvimetalurgia

3.4. Tema 8. Procesos de conformación por deformación plástica I

3.5. Tema 9. Procesos de conformación por deformación plástica II

3.6. Tema 10. Polímeros. Procesos de conformación de materiales poliméricos

3.7. Tema 11. Técnicas y procesos de soldadura

4. Bloque IV. Principios de fabricación por arranque de viruta

4.1. Tema 12. Introducción a los procesos de fabricación por arranque de viruta

4.2. Tema 13. Materiales y parámetros de corte en los procesos de fabricación por
arranque de viruta

4.3. Tema 14. Procesos de mecanizado

5. Bloque V. Tecnologías de la fabricación limpias y sostenibles. Estudio medioambiental de los procesos de fabricación

5.1. Tema 15. Introducción a la producción sostenible. Tecnologías de fabricación limpias

6. Bloque VI. Organización y planificación de la producción

6.1. Tema 16. Planificación y control de la producción

6.2. Tema 17. Producción integrada por ordenador

Contenidos prácticos

7. Bloque I. Metrología dimensional

7.1. Medición de longitud: pie de rey y micrómetro

7.2. Medición de ángulos: goniómetro y proyector de perfiles

8. Bloque II. Programación manual de CNC para máquinas herramientas por arranque de viruta

8.1. Programación básica ISO manual de torno.

12.12. Universidad de Deusto (Sistemas de fabricación_6 ETCS)

UNIDAD 1: PROCESO DE FUNDICIÓN.

1. Fundamentos, procesos y equipos de diseño, materiales y consideraciones económicas.

UNIDAD 2: PROCESO DE CONFORMADO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA

2. Procesos y equipos para laminado.

3. Procesos y equipos para forjado.

4. Procesos y equipos para conformado de chapa.

UNIDAD 3: FABRICACIÓN ADITIVA INDUSTRIAL.

5. Procesos sustractivos.

6. Procesos aditivos.

7. Prototipado virtual.

UNIDAD 4: PROCESOS CON ARRANQUE DE VIRUTA.

8. Fundamentos de mecanizado.

9. Torneado. Taladrado.

10. Fresado.

11. Brochado.

12. Mecanizado con Abrasivos.

UNIDAD 5: PROCESOS NO CONVENCIONALES

13. Electroerosión.

14. Ataque químico.

15. Corte por chorro abrasivo.

16. Corte por Láser.

UNIDAD 6: PROCESOS DE UNIÓN.

17. Soldadura: MIG, TIG, FCAW... Atornillado.

18. Remachado.

19. Uniones con adhesivos.

20. Unión por calor.

21. Normativa.

12.13. Universidad de Extremadura (Procesos de fabricación I_6 ETCS)

Denominación del 1: Metrología

1. Contenidos del tema 1:

- 1.1. Metrología dimensional y Normalización
- 1.2. Medición y verificación de longitudes y ángulos
- 1.3. Control de cuerpos y superficies
- 1.4. Control de Calidad

2. Prácticas: (12 horas)

- 2.1. Metrología I. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.2. Metrología II. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.3. Metrología III. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.4. Metrología IV. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.5. Metrología V. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.6. Metrología V. Práctica de laboratorio. 2h

Denominación del tema 2: Conformado por arranque de material

1. Contenidos del tema 2:

- 1.1. Introducción a los procesos de mecanizado
- 1.2. Fundamentos del proceso de corte
- 1.3. Aspectos tecnológicos del torneado
- 1.4. Aspectos tecnológicos del fresado
- 1.5. Aspectos tecnológicos de los procesos con movimiento principal rectilíneo
- 1.6. Aspectos tecnológicos del mecanizado de agujeros
- 1.7. Mecanizado con abrasivos
- 1.8. Conformado de roscas y engranajes

2. Práctica: (6 horas)

- 2.1. Arranque de material I. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.2. Arranque de material II. Práctica de laboratorio. 2h
- 2.3. Arranque de material III. Práctica de laboratorio. 2h

Denominación del tema 3: Conformado por moldeo

1. Contenidos del tema 3:

- 1.1. Introducción al conformado por moldeo
- 1.2. Hornos de fusión
- 1.3. Moldeo en arena
- 1.4. Moldeos especiales en moldes no metálicos
- 1.5. Moldeo en coquilla y a presión
- 1.6. Moldeo por centrifugación
- 1.7. Diseño del molde y defectos
- 1.8. Pulvimetalurgia

2. Práctica: (1 horas)

- 2.1. Moldeo I. Práctica de laboratorio. 1h

12.14. Universidad de Girona (*Manufacturing processes 1_6 ETCS*)

1. Part conceptual

- 1.1. *bloc 1: Metrologia i verificació*
- 1.2. *bloc 2: Processos d'arrancada de ferritja*
- 1.3. *bloc 3: Processos de ferritja no convencionals*

2. Part procedimental

- 2.1. *Bloc 1: problemes*
- 2.2. *Bloc2: pràctiques*
- 2.3. *Part actitudinal*

3. Part actitudinal

12.15. Universidad de Huelva (Tecnología mecánica I_6 ETCS)

1. TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Perspectiva histórica.
- 1.3. Perspectiva económica.
- 1.4. Perspectiva tecnológica.
- 1.5. Ingeniería secuencial e ingeniería concurrente.
- 1.6. Procesos de fabricación.
- 1.7. Clasificación de los procesos de fabricación.

2. TEMA 2. FUNDAMENTOS DE LA FUNDICIÓN DE METALES

- 2.1. Introducción.
- 2.2. Clasificación de los procesos de fundición.
- 2.3. Colada. Temperatura de colada.
- 2.4. Velocidad de llenado.
- 2.5. Colabilidad.
- 2.6. Solidificación de los metales puros.
- 2.7. Solidificación y patrones de solidificación de las aleaciones, estructura y propiedades mecánicas.
- 2.8. Tiempo de solidificación: regla de Chvorinov.
- 2.9. Contracción.
- 2.10. Materiales empleados en fundición.

3. TEMA 3. MOLDEO EN ARENA

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Fases del moldeo en arena.
- 3.3. Modelos.
- 3.4. Machos o noyos.
- 3.5. Elementos auxiliares.
- 3.6. Arenas.
- 3.7. Defectos en piezas fundidas.
- 3.8. Ventajas y limitaciones del moldeo en arena.

4. TEMA 4. OTROS PROCESOS DE FUNDICIÓN EN MOLDE DESECHABLE

- 4.1. Aspectos generales.
- 4.2. Moldeo en cáscara.
- 4.3. Moldeo en yeso y cerámica.
- 4.4. Fundición por revestimiento o a la cera perdida.
- 4.5. Fundición con modelo evaporativo.
- 4.6. Fundición al vacío.

5. TEMA 5. FUNDICIÓN EN MOLDE PERMANENTE

- 5.1. Introducción.
- 5.2. Clasificación de los procesos de fundición en molde permanente.
- 5.3. Colada por gravedad.
- 5.4. Colada a baja presión.
- 5.5. Colada por inyección a alta presión (cámara caliente y cámara fría).
- 5.6. Colada centrífuga.
- 5.7. Otros procesos asociados con la fundición.
- 5.8. Hornos de fusión.

6. TEMA 6. INTRODUCCIÓN AL COMPORTAMIENTO PLÁSTICO DE METALES

- 6.1. Introducción.

- 6.2. Clasificación de los procesos de conformado por deformación plástica.
- 6.3. Comportamiento plástico del material.
- 6.4. Caracterización: curvas tensión-deformación.
- 6.5. Incompresibilidad en régimen plástico.
- 6.6. Propiedades mecánicas.
- 6.7. Rangos de temperatura de conformado.
- 6.8. Efectos de la temperatura y de la velocidad de deformación.
- 6.9. Conformado en frío y en caliente.
- 6.10. Tensión de fluencia promedio.

7. TEMA 7. PROCESOS DE FORJA Y ESTAMPACIÓN DE METALES

- 7.1. Introducción.
- 7.2. Forja libre.
- 7.3. Estampación con rebaba.
- 7.4. Estampación en matriz cerrada.
- 7.5. Procesos de forja y estampación: acuñación, recalcado o cabeceado, penetrado, forjado con rodillos (forja-laminación), forjado de bolas, forjado orbital, forjado rotatorio, forjado rotatorio de tubos.
- 7.6. Defectos en piezas forjadas y estampadas.
- 7.7. Estampas.
- 7.8. Equipos para forja y estampación.
- 7.9. Análisis simple de los procesos de forja y estampación: dimensionamiento de la preforma y del canal de rebaba, estimación de fuerza, potencia y energía.

8. TEMA 8. PROCESOS DE LAMINACIÓN DE METALES

- 8.1. Introducción.
- 8.2. Procesos de laminación: laminación plana, laminación de forma, laminación de anillos, laminación de roscas, laminación de tubos, proceso Mannesmann para la fabricación de tubos sin costuras.
- 8.3. Defectos en laminación plana.
- 8.4. Reducción de la fuerza de laminación.
- 8.5. Trenes de laminación.
- 8.6. Análisis simple de la laminación plana: línea neutra, condiciones de arrastre, estimación de fuerza, par y potencia.

9. TEMA 9. PROCESOS DE EXTRUSIÓN Y ESTIRADO DE METALES

- 9.1. Introducción.
- 9.2. Tipos de extrusión: directa, indirecta, hidrostática, lateral, en frío, por impacto.
- 9.3. Matrices de extrusión.
- 9.4. Defectos en piezas extruidas.
- 9.5. Tipos de estirado: de barras, de alambres (trefilado), de tubos.
- 9.6. Defectos en piezas estiradas.

9.7. Análisis simple de la extrusión y del estirado: estimación de la presión de extrusión y de la tensión de estirado.

10. TEMA 10. PROCESOS DE CONFORMADO DE CHAPA

- 10.1. Introducción.
- 10.2. Comportamiento de la chapa.
- 10.3. Procesos involucrados en el conformado de chapa.
- 10.4. Corte de chapa.
- 10.5. Estimación de la fuerza y el trabajo en el corte.
- 10.6. Punzones y matrices.
- 10.7. Doblado de chapa.
- 10.8. Análisis del doblado de chapa.
- 10.9. Fuerza en el doblado de chapa.
- 10.10. Radio mínimo de doblado.
- 10.11. Recuperación elástica (springback).
- 10.12. Métodos para compensar la recuperación elástica.
- 10.13. Embutición de chapa.
- 10.14. Fuerzas en la embutición.
- 10.15. Prensas para el conformado de chapa.
- 10.16. Operaciones de conformado de chapa sin prensas.

11. TEMA 11. METROLOGÍA DIMENSIONAL

- 11.1. Introducción.
- 11.2. Atributos de los productos fabricados.
- 11.3. Tolerancias dimensionales.
- 11.4. Ajustes.
- 11.5. Tolerancias geométricas.
- 11.6. Rugosidad superficial.
- 11.7. Medición y verificación.
- 11.8. Instrumentos de medida.
- 11.9. Medición de longitudes.
- 11.10. Calibres.
- 11.11. Medición de ángulos.
- 11.12. Medición de roscas y engranajes.
- 11.13. Comprobación de tolerancias geométricas.

12. Medición de la rugosidad.

13. Otras comprobaciones.

14. Interferometría.

15. Máquinas de medición por coordenadas.

16. La metrología y los procesos de fabricación.

17. Normas UNE.

NOTA: hay una segunda asignatura de Tecnología mecánica en el tercer curso:

TEMA 1. FUNDAMENTOS DEL CONFORMADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Introducción. Elementos básicos que intervienen en los procesos de mecanizado. Herramientas de corte. Máquinas-herramienta. Movimientos fundamentales. Condiciones de corte. Formación y tipos de viruta. Rompevirutas. Calidad de las superficies mecanizadas. Estimación de la potencia de corte: energía específica de corte, caudal de viruta.

TEMA 2. MATERIALES PARA HERRAMIENTAS DE CORTE, FLUIDOS DE CORTE Y VIDA DE LA HERRAMIENTA

Materiales para herramientas de corte: requisitos de los materiales para herramientas, tipos de materiales, herramientas recubiertas. Fluidos de corte: tipos y función de los fluidos de corte, generación de calor y temperaturas en el corte, aplicación de los fluidos de corte. Desgaste y vida útil de la herramienta: ecuación de Taylor.

TEMA 3. PROCESOS DE MECANIZADO PARA PRODUCIR FORMAS CON SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN: I. TORNEADO

Introducción. Operaciones de torneado. Movimientos fundamentales y condiciones de corte. Herramientas para tornear. El torno. Componentes principales del torno. Estimación de potencia y tiempo de corte en operaciones de cilindrado y refrentado.

TEMA 4. PROCESOS DE MECANIZADO PARA PRODUCIR FORMAS CON SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN: II. TALADRADO

Introducción. Operaciones de taladrado. Movimientos fundamentales y condiciones de corte. Herramientas para taladrar. Taladradoras. Mandrinadora. Estimación de potencia y tiempo de corte en operaciones de taladrado.

TEMA 5. PROCESOS DE MECANIZADO PARA PRODUCIR FORMAS DIVERSAS: I. FRESADO

Introducción. Operaciones de fresado. Movimientos fundamentales y condiciones de corte. Fresado periférico, frontal y combinado. Fresado en concordancia y en oposición. Herramientas para fresar. Fresadoras. Estimación de potencia y tiempo de corte en operaciones de fresado.

TEMA 6. PROCESOS DE MECANIZADO PARA PRODUCIR FORMAS DIVERSAS: II. LIMADO, CEPILLADO Y BROCHADO

Introducción. Limado. Cepillado. Brochado. Estimación de potencia y tiempos de corte en operaciones de limado y cepillado.

TEMA 7. PROCESOS DE MECANIZADO CON ABRASIVOS

Introducción: características y aplicaciones. Muelas abrasivas: materiales abrasivos, aglutinantes, grado de dureza, estructura, formas de las muelas. Operaciones de rectificado. Rectificadoras.

TEMA 8. INTRODUCCIÓN AL CONTROL NUMÉRICO

Introducción: la automatización en los sistemas de producción. Nociones básicas de la tecnología. Control numérico computerizado (CNC). Control numérico directo y distribuido. Aplicaciones del control numérico. Flujo de información en sistemas de CNC. El sistema de posicionamiento en control numérico. Iniciación a la programación de piezas por control numérico (ISO, APT, CAD/CAM).

TEMA 9. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO PARA EL PROCESADO DE POLVOS METÁLICOS

Introducción (DFM: Design for Manufacture). Etapas principales del proceso. Operaciones secundarias. Mecánica de la compactación. Curvas de compactación. Herramientas para compactación. Prensas para compactación. Clasificación de las piezas. Hornos para sinterizado. Materiales utilizados. Costes básicos de fabricación. Algunas recomendaciones de diseño.

12.16. Universidad de Jaén (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

Introducción a los Sistemas de Producción y Fabricación

Procesos de Fabricación

Introducción a los Procesos de Fabricación Mecánica

Aplicación de los Sistemas de automatización en los procesos de fabricación

Fundamentos de la Fabricación Asistida por Ordenador (CAM) y de la programación de máquinas herramientas mediante control numérico.

Contenidos Desarrollados

1. Bloque I: Introducción a los Procesos de Conformado.
 - 1.1. Tema 1.1. Introducción a los procesos de fabricación
 - 1.2. Tema 1.2. Integración entre diseño y fabricación.
2. Bloque II: Procesos de Conformado por Fundición y Moldeo.
 - 2.1. Tema 2.1: Introducción a la fundición.
 - 2.2. Tema 2.2. Moldeo en arena.
 - 2.3. Tema 2.3. Fundición en moldes desechables y permanentes.

3. Bloque III: Procesos de Conformado por Deformación Plástica.
 - 3.1. Tema 3.1. Introducción a los procesos de conformado por deformación plástica.
 - 3.2. Tema 3.2. Procesos de conformado por deformación plástica.
 - 3.3. Tema 3.3. Procesos de conformado de chapa.
4. Bloque IV: Procesos de Conformado por Arranque de Material.
 - 4.1. Tema 4.1. Teoría del mecanizado.
 - 4.2. Tema 4.2. Procesos de mecanizado convencionales
 - 4.3. Tema 4.3. Procesos de mecanizado no convencionales.
5. Bloque V: Otros procesos de conformado.
 - 5.1. Tema 5.1. Pulvimetalurgia
 - 5.2. Tema 5.2. Conformado de polímeros
 - 5.3. Tema 5.3. Fabricación aditiva
 - 5.4. Tema 5.4. Conformado de materiales compuestos
6. Bloque VI: Procesos de Unión.
 - 6.1. Tema 6.1. Introducción a los procesos de unión
 - 6.2. Tema 6.2. Procesos de soldadura
7. Bloque VII: Otros procesos de fabricación.
 - 7.1. Tema 7.1. Procesos de recubrimiento de superficies
 - 7.2. Tema 7.2. Procesos de fabricación de dispositivos electrónicos
 - 7.3.

Las prácticas a realizar serán las siguientes:

1. Práctica 1. Metrología: Se pretende familiarizar al alumno con el entorno de trabajo en un laboratorio de Metrología y que adquiriera los conocimientos necesarios para el manejo de instrumentos de medida directa de longitudes (Pie de Rey y Micrómetro) y de medida indirecta de longitudes (Reloj comparador) y con el uso de patrones de longitud.
2. Práctica 2. Mecanizado : Se pretende familiarizar al alumno con las máquinas-herramienta más usuales en un taller de mecanizado (torno paralelo, fresadora y taladradora), así como identificar los movimientos principales de corte en este tipo de máquinas-herramienta, las herramientas más usuales en este tipo de procesos de mecanizado (material y geometría), utillaje utilizado y principales operaciones de corte ejecutadas por estas MHTAs.
3. Práctica 3. Soldadura : Se pretende familiarizar al alumno con los principales procedimientos y equipos de soldadura que se utilizan a nivel industrial. Se realizará un proceso de soldadura blanda sobre un conjunto de accesorios de cobre para tuberías de ACS, además de una demostración del funcionamiento de los equipos de soldadura oxiacetilénica, MIG/MAG y soldadura por arco eléctrico.

4. Práctica 4. Conformado de Polímeros: Se pretende familiarizar al alumno con los principales procedimientos de conformado de polímeros usados industrialmente, particularizando en la aplicación de operaciones de termoconformado para polímeros termoplásticos.
5. Práctica 5. Simulación CNC: Se pretende familiarizar al alumno con el lenguaje de programación manual de CNC en Código ISO y sus funciones básicas, de forma que el alumno sea capaz de programar el mecanizado de una pieza sencilla y realizar su simulación previa mediante software de simulación como CNC SimulatorPro, WinUnisoft o similar.

12.17. Universidad de La Laguna (Tecnología mecánica_6 ETCS)

MÓDULO I: PROCESOS DE FABRICACIÓN

1. TEMA 1
 - 1.1. Introducción a los Procesos de Fabricación: Conceptos básicos. Tipos de procesos de fabricación.
2. TEMA 2
 - 2.1. Procesos de conformado sin pérdida de material: Fundamentos. Procesos de conformado por moldeo. Fundición.
 - 2.2. Procesos de conformado por deformación plástica. Forja. Estampación. Laminación. Extrusión. Estirado y trefilado.
 - 2.3. Procesos de conformado de chapa. Procesos de corte. Doblado. Plegado. Embutición. Otros procesos.
 - 2.4. Pulvimetalurgia: Fundamentos. Conformado por sinterizado. Aplicaciones y productos.
3. TEMA 3
 - 3.1. Procesos de conformado por eliminación de material: Fundamentos. Torneado. Fresado. Rectificado. Otros procesos de mecanizado.
4. TEMA 4
 - 4.1. Procesos de conformado por unión de partes: Fundamentos. Tipos de procesos de conformado por unión de partes.
 - 4.2. Procesos de soldadura. Otros procesos.

MÓDULO II: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

5. TEMA 5
 - 5.1. Sistemas de Producción: Fundamentos de Fabricación. Organización del Sector Industrial. Tipos de Sistemas de
 - 5.2. Producción. Producción en Cadena. Sistema Justo a Tiempo.

6. TEMA 6

6.1. Diseño de Instalaciones de Fabricación: Fundamentos del Diseño de Instalaciones de Fabricación.

6.2. Diseño Industrial y Fabricación. Dimensionamiento y Planificación de la Producción. Tiempos de Fabricación.

7. TEMA 7

7.1. La Máquina Herramienta de Control Numérico: Fundamentos del Control Numérico. Aplicaciones del Control Numérico.

7.2. Diseño asistido por ordenador. Fabricación asistida por ordenador. Ingeniería asistida por ordenador.

7.3. Sistemas Robotizados.

MÓDULO III: INGENIERÍA DE LA CALIDAD EN SISTEMAS DE FABRICACIÓN

8. TEMA 8

8.1. Conceptos básicos de Ingeniería de la Calidad: Fundamentos. Sistemas de Gestión de la Calidad. Planificación de la

8.2. Calidad. Estandarización de Operaciones.

9. TEMA 9

9.1. Herramientas de Ingeniería de la Calidad: Tipos de Herramientas de Ingeniería de la Calidad. Control Estadístico de

9.2. Procesos de Fabricación. Variabilidad en la Fabricación. Capacidad de los Procesos.

10. TEMA 10

10.1. Metrología y Normalización: Fundamentos de Metrología. La Organización Metrológica. Patrones. Trazabilidad.

10.2. Planificación de la Calibración. Normalización: Fundamentos de Normalización. Sistema ISO. Normativa Actual.

MÓDULO IV: INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL: TECNOLOGÍAS MEDIOAMBIENTALES Y GESTIÓN ENERGÉTICA

11. TEMA 11

11.1. Contaminación, Tecnologías Medioambientales y Gestión Energética: Fundamentos de Ingeniería y Medio Ambiente.

11.2. Ecosistemas. Ciclos naturales de los ecosistemas. Ciclos de la materia y energía en los ecosistemas.

11.3. Contaminación e impacto ambiental. Tipos de Contaminación y Tecnologías Medioambientales para su tratamiento. Residuos.

11.4. Producción, consumo y usos de la Energía. Gestión Energética.

12. TEMA 12

- 12.1. Ingeniería y Gestión Ambiental: Fundamentos. Instrumentos de Gestión Ambiental. Evaluación del Impacto Ambiental.

12.18. Universidad de La Rioja (Tecnología de fabricación_6 ETCS)

- 1. Tema 1: Introducción a los procesos de fabricación.**
 - 1.1. Introducción.
 - 1.2. Etapas en el diseño de un producto.
 - 1.3. Factores que afectan a la selección de procesos.
 - 1.4. Materiales industriales.
 - 1.5. Clasificación de los Procesos de fabricación.
- 2. Tema 2: Introducción a la Metrología Dimensional.**
 - 2.1. Introducción.
 - 2.2. Unidades de medida.
 - 2.3. Trazabilidad.
 - 2.4. Aparatos de medida.
 - 2.5. Cálculo de la incertidumbre.
 - 2.6. Patrones de medida.
 - 2.7. Metrología angular.
 - 2.8. Medidas indirectas.
- 3. Tema 3: Conformado por Eliminación de Material.**
 - 3.1. Fundamentos del corte.
 - 3.2. Materiales de herramientas y fluidos de corte.
 - 3.3. Torneado.
 - 3.4. Fresado.
 - 3.5. Maquinado de roscas.
 - 3.6. Taladrado y brocas.
 - 3.7. Otros procesos.
- 4. Tema 4: Conformado por Moldeo.**
 - 4.1. Introducción.
 - 4.2. Fundición. Moldeo por inyección de plásticos.
 - 4.3. Pulvimetalurgia.
 - 4.4. Prototipado rápido.
- 5. Tema 5: Procesos de Soldadura.**
 - 5.1. Introducción.
 - 5.2. Soldadura con llama OAW.
 - 5.3. Soldadura SMAW.
 - 5.4. Soldadura TIG.

- 5.5. Soldadura MIG/MAG.
- 5.6. Soldadura SAW.
- 5.7. Soldadura por resistencia eléctrica.
- 5.8. Soldadura por Láser.
- 5.9. Soldadura por plasma.
- 5.10. Otras técnicas de soldadura.
- 5.11. Simbología de la soldadura.

6. Tema 6: Conformado por Deformación Plástica.

- 6.1. Introducción.
- 6.2. Forja.
- 6.3. Laminación.
- 6.4. Estirado.
- 6.5. Extrusión.
- 6.6. Corte y punzonado.
- 6.7. Doblado y curvado.
- 6.8. Repujado.
- 6.9. Embutición.
- 6.10. Estampado.

7. Tema 7: Procesos Avanzados de Fabricación.

- 7.1. Introducción.
- 7.2. Maquinado químico.
- 7.3. Maquinado electroquímico.
- 7.4. Maquinado con descarga eléctrica (electroerosión).
- 7.5. Maquinado con descarga eléctrica y alambre (electroerosión con hilo).
- 7.6. Maquinado con rayo láser.
- 7.7. Maquinado con haz de electrones y corte con arco de plasma.
- 7.8. Maquinado con chorro de agua.
- 7.9. Micromaquinado.
- 7.10. Nanofabricación.

**12.19. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
(Fundamentos de fabricación y producción_4,5 ETCS)**

BLOQUE TEMÁTICO 0. PRESENTACIÓN E INTRODUCCIÓN DE LA ASIGNATURA (2T, 1PA)

TEMA 0: Presentación e introducción de la asignatura. (2 h)

- 0.1.- Presentación de la asignatura.
- 0.2.- Introducción a la Ingeniería de Fabricación.

Práctica de Aula (1 h)

PA 0.- Introducción a las prácticas de aula y de laboratorio

BLOQUE TEMÁTICO 1. METROLOGÍA (4T, 2PA, 2PL)

TEMA 1: Metrología Industrial. (1 h)

1.1.- Metrología Industrial.

TEMA 2: Análisis de la medida y sus aplicaciones. (2 h)

2.1.- Incertidumbre de medida.

2.2.- Clasificación de equipos de medida.

2.3.- Selección de equipos de medida.

TEMA 3: Normalización de ajustes y tolerancias. (1 h)

3.1.- Tolerancias dimensionales.

3.2.- Ajustes.

Prácticas de Aula (2 h)

PA 1.- Ajustes y Tolerancias I

PA 2.- Ajustes y Tolerancias II

Práctica de Laboratorio (2 h)

PL 1.- Medición y Calibración con instrumentación básica

BLOQUE TEMÁTICO 2. PROCESOS DE FABRICACIÓN (21T, 3PA, 5PL)

TEMA 4: Conformación por Fusión y Moldeo (CFM) (6 h)

4.1.- Concepto y fundamento de la CFM.

4.2.- Procesos de Conformación por Fusión y Moldeo.

TEMA 5: Conformación por Deformación y Corte (CDC) (6 h)

5.1.- Concepto y fundamento de la CDC

5.2.- Procesos de deformación volumétrica o masiva.

5.3.- Procesos de conformación de chapas o láminas.

TEMA 6: Conformación por Arranque de material (4 h)

6.1.- Concepto y fundamento de la CAM

6.2.- Procesos convencionales

6.3.- Procesos no convencionales

TEMA 7: Conformación por Unión y Ensamble (CS) (4 h)

7.1.- Concepto y fundamento de la Soldadura.

7.2.- Procesos de unión por soldadura.

7.3.- Otros procesos de unión.

TEMA 8: Procesos Avanzados de Fabricación (1 h)

Prácticas de Aula (3 h)

PA 3.- Caso Práctico I

PA 4.- Caso Práctico II

PA 5.- Caso Práctico III

Prácticas de Laboratorio (5 h)

PL 2.- Máquina-Herramienta I

PL 3.- Máquina-Herramienta II

PL 4.- Máquina-Herramienta III

BLQUE TEMÁTICO 3. FUNDAMENTOS DE PRODUCCIÓN (3T, 2PA)

TEMA 9: Estrategias de producción (2 h)

9.1.- Tiempo y costes mínimos de producción.

9.2.- Máxima eficiencia.

TEMA 10: Planificación de la producción. (1 h)

Prácticas de Aula (2 h)

PA 6.- Estrategias de Producción I

PA 7.- Estrategias de Producción II

12.20. Universidad de León (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

1. Conformado por unión

1.1. Procesos de soldadura

1.2. Profesos de adhesión

1.3. Procesos de ensamble mecánico

2. Fundición de metales

2.1. Fundición en arena

2.2. Fundición en coquilla

2.3. Fundición a presión

2.4. Fundición de precisión

2.5. Otros procesos de fundición

3. Transformación de plásticos

3.1. 3.1 Inyección de plásticos

3.2. Extrusión de plásticos

3.3. Otros procesos de transformación

4. Procesos de conformado por deformación plástica

4.1. Introducción a los procesos de deformación plástica

4.2. Laminado

4.3. Forja

4.4. Extrusión

4.5. Estirado y trefilado

4.6. Otros procesos

5. Conformado de otros materiales

5.1. Conformado de materiales compuestos

5.2. Conformado de vidrios y cerámicos.

12.21. Universidad de Lleida (Tecnologías de fabricación_6 ETCS)

Tema 1 - Metrología

Tema 2 - Conformación por deformación y corte.

Tema 3 - Conformación por arranque de viruta.

Tema 4 - Control numérico.

Tema 5 - Tecnologías de soldadura.

Tema 6 - Prototipaje rápido

Tema 7 - Otros procesos de obtención de piezas.

12.22. Universidad de Málaga (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

1. Introducción a la ingeniería de fabricación

1.1. Selección de materiales y procesos.

1.2. Introducción a los procesos de fundición

2. Fundición

2.1. Clasificación de los procesos de fabricación

2.2. Aspectos tecnológicos de la fundición

2.3. Procesos de fundición 1

2.4. Procesos de fundición 2

3. Pulvimetalurgia

3.1. Procesos de conformado por pulvimetalurgia

3.2. Procesado de polímeros y materiales compuestos

3.3. Procesado de materiales poliméricos

3.4. Procesado de materiales compuestos

4. Deformación Plástica

4.1. Introducción a los procesos de deformación plástica

4.2. Procesos de deformación plástica estacionarios

4.3. Procesos de deformación plástica no estacionarios

4.4. Procesos de deformación plástica de chapa

5. Soldadura

5.1. Procesos de soldadura 1

5.2. Procesos de soldadura 2

6. Mecanizado

6.1. Introducción a los procesos de mecanizado

6.2. Fundamentos del mecanizado por arranque de viruta

6.3. Aspectos tecnológicos del mecanizado

6.4. Otros procesos de mecanizado

7. Sistemas de fabricación

7.1. Organización de los sistemas de fabricación

7.2. Planificación de los sistemas de fabricación

- 7.3. Automatización de la fabricación
- 7.4. Automatización de la fabricación 1
- 7.5. Automatización de la fabricación 2

8. Metrología

- 8.1. Fundamentos de Metrología
- 8.2. Equipos de metrología dimensional

9. Calidad

- 9.1. Introducción a la Ingeniería de Calidad de Fabricación

10. Fabricación y medioambiente

- 10.1. Implicaciones medio-ambientales en la fabricación
- 10.2. Ecodiseño

11. Programa de Prácticas

- 11.1. Prácticas de Fundición
- 11.2. Prácticas de Soldadura
- 11.3. Prácticas de Mecanizado
- 11.4. Prácticas de Metrología

12.23. Universidad de Mondragón (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS)

MÓDULO I: PROCESOS DE FABRICACIÓN

1. TEMA 1

- 1.1. Introducción a los Procesos de Fabricación: Conceptos básicos.
- 1.2. Tipos de procesos de fabricación.

2. TEMA 2

- 2.1. Procesos de conformado sin pérdida de material.
 - 2.1.1. Fundamentos.
 - 2.1.2. Procesos de conformado por moldeo.
 - 2.1.3. Fundición.
- 2.2. Procesos de conformado por deformación plástica.
 - 2.2.1. Forja. Estampación.
 - 2.2.2. Laminación.
 - 2.2.3. Extrusión.
 - 2.2.4. Estirado y trefilado.
- 2.3. Procesos de conformado de chapa.
 - 2.3.1. Procesos de corte.
 - 2.3.2. Doblado.

- 2.3.3. Plegado.
- 2.3.4. Embutición.
- 2.3.5. Otros procesos.
- 2.4. Pulvimetalurgia: Fundamentos.
 - 2.4.1. Conformado por sinterizado.
 - 2.4.2. Aplicaciones y productos.
- 3. TEMA 3
 - 3.1. Procesos de conformado por eliminación de material: Fundamentos.
 - 3.1.1. Torneado.
 - 3.1.2. Fresado.
 - 3.1.3. Rectificado.
 - 3.1.4. Otros procesos de mecanizado.
- 4. TEMA 4
 - 4.1. Procesos de conformado por unión de partes: Fundamentos.
 - 4.2. Tipos de procesos de conformado por unión de partes.
 - 4.3. Procesos de soldadura. Otros procesos.
- MÓDULO II: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**
- 5. TEMA 5
 - 5.1. Sistemas de Producción:
 - 5.1.1. Fundamentos de Fabricación.
 - 5.1.2. Organización del Sector Industrial.
 - 5.1.3. Tipos de Sistemas de Producción.
 - 5.1.4. Producción en Cadena.
 - 5.1.5. Sistema Justo a Tiempo.
- 6. TEMA 6
 - 6.1. Diseño de Instalaciones de Fabricación:
 - 6.1.1. Fundamentos del Diseño de Instalaciones de Fabricación. Diseño Industrial y Fabricación.
 - 6.1.2. Dimensionamiento y Planificación de la Producción. Tiempos de Fabricación.
- 7. TEMA 7
 - 7.1. La Máquina Herramienta de Control Numérico:
 - 7.1.1. Fundamentos del Control Numérico.
 - 7.1.2. Aplicaciones del Control Numérico.
 - 7.2. Diseño asistido por ordenador.
 - 7.2.1. Fabricación asistida por ordenador.
 - 7.2.2. Ingeniería asistida por ordenador.
 - 7.2.3. Sistemas Robotizados.

8. MÓDULO III: INGENIERÍA DE LA CALIDAD EN SISTEMAS DE FABRICACIÓN

9. TEMA 8

9.1. Conceptos básicos de Ingeniería de la Calidad:

- 9.1.1. Fundamentos. Sistemas de Gestión de la Calidad.
- 9.1.2. Planificación de la Calidad.
- 9.1.3. Estandarización de Operaciones.

10. TEMA 9

10.1. Herramientas de Ingeniería de la Calidad:

- 10.1.1. Tipos de Herramientas de Ingeniería de la Calidad.
- 10.1.2. Control Estadístico de Procesos de Fabricación.
- 10.1.3. Variabilidad en la Fabricación.
- 10.1.4. Capacidad de los Procesos.

11. TEMA 10

11.1. Metrología y Normalización:

- 11.1.1. Fundamentos de Metrología.
- 11.1.2. La Organización Metrológica.
- 11.1.3. Patrones.
- 11.1.4. Trazabilidad.

12. Planificación de la Calibración.

- 12.1.1. Normalización:
- 12.1.2. Fundamentos de Normalización. Sistema ISO.
- 12.1.3. Normativa Actual.

13. MÓDULO IV: INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL: TECNOLOGÍAS MEDIOAMBIENTALES Y GESTIÓN ENERGÉTICA

14. TEMA 11

14.1. Contaminación, Tecnologías Medioambientales y Gestión Energética: Fundamentos de Ingeniería y Medio Ambiente.

14.2. Ecosistemas. Ciclos naturales de los ecosistemas.

- 14.2.1. Ciclos de la materia y energía en los ecosistemas.
- 14.2.2. Contaminación e impacto ambiental.
- 14.2.3. Tipos de Contaminación y Tecnologías Medioambientales para su tratamiento. Residuos.

14.3. Producción, consumo y usos de la Energía. Gestión Energética.

15. TEMA 12

15.1. Ingeniería y Gestión Ambiental: Fundamentos.

- 15.1.1. Instrumentos de Gestión Ambiental. Evaluación del Impacto Ambiental.

12.24. Universidad de Navarra (Tecnología de materiales_4,5 ETCS)

1. Introducción a los procesos de fabricación

Sectores industriales relacionados con los procesos de arranque de viruta. La fabricación en el ciclo del producto en la empresa. La Fabricación es clave en la economía de la UE. Tipos de procesos de arranque de viruta.

2. Torneado

Procesos de arranque de viruta con un filo de geometría definida: TORNEADO.

El torno, movimientos y arquitectura fundamental: Tornos convencional y CNC.

La herramienta. Sistema ASA de representación de ángulos.

La generación de la viruta.

Operaciones y parámetros de operación: cilindrado, refrentado, acanalado y tronchado, roscado, torneado de conos y torneado de perfiles curvos.

Herramientas con plaquitas

3. Taladrado

Operaciones con herramientas de filos con geometría definida y rotación y avance axiales: Taladrado, punteado, escariado, brochado, mandrinado, avellanado, lamado, roscado con macho.

Máquina para las operaciones anteriores: Centro de mecanizado (CDM)

Estructura de un CDM vertical.

Procesos de taladrado en función de la relación entre la longitud y el diámetro del agujero.

Tipos de brocas:

- Broca helicoidal enteriza (BHE)
- BHE con punta modificada y lubricación interna
- Broca con plaquitas

Parámetros de operación

Mejora calidad de agujero: escariado, bruñido, mandrinado.

Otras operaciones relacionadas con el taladrado de agujeros: Avellanados y chaflanes, roscado con macho de roscar

Taladrado de agujeros profundos: Broca cañón, BTA

Taladrado de agujeros de tamaño medio: Broca cañón

Micro brocas

4. Fresado

Operaciones con herramientas de filos con geometría definida y con rotación y avance normal al eje: Fresado tangencial, fresado frontal, fresado lateral, fresado circular-CNC, fresado de forma,...

Fresas tangenciales y parámetros de fresado tangencial

Potencia de corte-Método empírico

Fresas frontales de mango: enterizas y de plaquitas

Fresas frontales vs tangenciales

Fresas de disco enterizas

Fresas para fresar planos (planear)

Fresas para planear paredes

Fresas para cajeras y relieves

Fresas para fresar ranuras y roscas

Fresas para roscar enterizas

Fresas para roscar con plaquitas

Roscado con fresas de plaquitas

¿Cómo se elige una fresa?

¿Cómo se elige una plaquita?

Brochado

5. **Rectificado**

Rectificado vs fresado

Clasificación de las muelas

Abrasivos

Tamaño de grano

Grado de dureza

Aglomerante

Código de muela convencional

Algunos tipos de muelas

Dureza de la muela. Reafilado

Fluido de corte

Rectificadora plana de husillo horizontal y mesa con movimiento alternativo. Convencional

Rectificadora plana de husillo horizontal y mesa con movimiento alternativo. CNC

Rectificadora plana de husillo vertical y mesa con movimiento alternativo.

Rectificadora plana de husillo horizontal y mesa con movimiento giratorio. CNC

Rectificadora plana de husillo vertical y mesa con movimiento giratorio. Convencional

Rectificadora Cilíndrica. Convencional

12.25. Universidad de Oviedo (Procesos de Fabricación_6 ETCS)

1. **BLOQUE 1.- Conceptos básicos y clasificación de los procesos de fabricación**
 - 1.1. Introducción a los Procesos. Normalización
 - 1.2. Tolerancias dimensionales y Ajustes
 - 1.3. Tolerancias geométricas y Calidad Superficial.
2. **BLOQUE 2.- Procesos de conformado por deformación plástica**
 - 2.1. Introducción
 - 2.2. Laminación
 - 2.3. Forja
 - 2.4. Extrusión y estirado
 - 2.5. Conformado de chapa
3. **BLOQUE 3.- Procesos de conformado por moldeo**
 - 3.1. Fundición y moldeo de materiales metálicos
 - 3.2. Moldeo de plásticos. Extrusión de plásticos y derivados
 - 3.3. Moldeo de plásticos. Inyección de plásticos y otros procesos
 - 3.4. Pulvimetalurgia
4. **BLOQUE 4.- Procesos de conformado por separación**
 - 4.1. Introducción al mecanizado por arranque de viruta
 - 4.2. Otros aspectos del mecanizado por arranque de viruta
 - 4.3. Torneado
 - 4.4. Fresado
 - 4.5. Procesos con velocidad de corte lineal
 - 4.6. Mecanizado de agujeros. Roscado
 - 4.7. Procesos de mecanizado por abrasión
 - 4.8. Corte de Chapa
 - 4.9. Procesos de mecanizado avanzado
5. **BLOQUE 5.- Procesos de unión y ensamblaje**
 - 5.1. Procesos de agregación
 - 5.2. Soldadura
 - 5.3. Uniones mecánicas y adhesivos
6. **BLOQUE 6.- Procesos de verificación e inspección**
 - 6.1. Introducción a la metrología
7. **BLOQUE 7.- Gestión de la fabricación**
 - 7.1. Gestión de la fabricación

12.26. Universidad de Salamanca (Tecnología de producción y fabricación_6 ETCS)

Teoría.

1. Tema 1. Introducción a los procesos de fabricación.
2. Tema 2. Procesos de conformado.
3. Tema 3. Conformado por arranque de material.
4. Tema 4. Mecanizado no convencional.
5. Tema 5. Organización de la producción.

Práctica.

6. Práctica 1: Torno convencional.
7. Práctica 2: Operaciones con el torno.
8. Práctica 3: Fresadora convencional.
9. Práctica 4: Operaciones con la fresadora.

12.27. Universidad de Sevilla (Procesos de Fabricación_6 ETCS)

BLOQUE I. 1º Parcial.

1. Tema 1. Introducción a los Sistemas de Fabricación y Producción (2h).
 - 1.1. Introducción a la fabricación.
 - 1.2. Síntesis histórica.
 - 1.3. Función económica de los procesos de fabricación.
 - 1.4. La fabricación como actividad tecnológica.
 - 1.5. Modelos de empresas.
 - 1.6. Sistemas de producción.
2. Tema 2. Morfología de Procesos (2h).
 - 2.1. Estructura básica de los procesos de fabricación.
 - 2.2. Sistemas de flujo de material.
 - 2.3. Sistemas de flujo de energía.
 - 2.4. Flujo de información.
 - 2.5. Tipología de procesos.
 - 2.6. Estado del material.
 - 2.7. Ejemplos de procesos de fabricación.
3. Tema 3. Metrología y Calidad (2h).
 - 3.1. La Variabilidad en la Fabricación.

- 3.2. La Capacidad de los Procesos.
- 3.3. Tolerancias dimensionales.
- 3.4. Normalización: Objetivos y Campo de Actuación.
- 3.5. La Organización Metrológica.
- 3.6. Patrones.
- 3.7. Trazabilidad.
- 3.8. Plan de Calibración.
4. Tema 4. Fundamentos de la Metrología Dimensional (5h).
 - 4.1. Errores en la medición. Instrumentos de medida.
 - 4.2. Cualidades del instrumento de medida.
 - 4.3. Relación entre tolerancia, división de escala e incertidumbre.
 - 4.4. Calibración de instrumentos de medida.
 - 4.5. Medidas de longitud y angulares.
 - 4.6. Verificación de formas geométricas.
 - 4.7. Máquinas de medición.
5. Tema 5. Ensayos no Destructivos (2h).
 - 5.1. Fundamentos.
 - 5.2. Métodos por partículas magnéticas.
 - 5.3. Método de los líquidos penetrantes.
 - 5.4. Método de los ultrasonidos.
 - 5.5. Radiografía industrial y gammagrafía.
 - 5.6. Análisis de fallos.
 - 5.7. Integración en los procesos.
6. Tema 6. Procesado Pulvimetalúrgico (2h).
 - 6.1. Introducción. Interés industrial.
 - 6.2. Principales tipos de materiales sinterizados.
 - 6.3. Procesado convencional de los polvos.
 - 6.4. Sinterización en fase líquida.
 - 6.5. Aspectos estructurales de los materiales sinterizados.
 - 6.6. Tendencias modernas en pulvimetalurgia.
7. Tema 7. Conformado de materiales cerámicos y vítreos (4h).
 - 7.1. Definición de material cerámico.
 - 7.2. Industria cerámica tradicional.
 - 7.3. Fabricación de materiales cerámicos avanzados.
 - 7.4. Industria del vidrio: materias primas, conformado del vidrio (plano, flotado, de envases y fibras).
 - 7.5. Operaciones secundarias.
8. Tema 8. Procesos de Conformado por Moldeo y técnicas afines (6h).

- 8.1. Fundamentos del proceso.
- 8.2. Fusión y solidificación. Moldeo en molde desechable.
- 8.3. Mecanización del moldeo.
- 8.4. Moldeos especiales.
- 8.5. Moldeo en Molde Permanente.
- 8.6. Moldeo a Presión.
- 8.7. Otros Procesos de conformado por moldeo.

BLOQUE 2º. 2º Parcial.

- 9. Tema 9. Procesos de Conformado por Deformación Plástica (6h).
 - 9.1. Deformación en frío y en caliente Laminación.
 - 9.2. Forja.
 - 9.3. Extrusión.
 - 9.4. Estirado y Trefilado.
 - 9.5. Trabajo de la Chapa.
 - 9.6. Punzonado y Troquelado.
 - 9.7. Embutición.
 - 9.8. Determinación de los parámetros fundamentales de los procesos en frío.
 - 9.9. Conformado de tubos.
 - 9.10. Designación.
- 10. Tema 10. Procesos de Conformado por Unión (4h).
 - 10.1. Soldadura: Fundamentos.
 - 10.2. Clasificación.
 - 10.3. Soldadura por fusión.
 - 10.4. Soldadura eléctrica por arco.
 - 10.5. Soldadura por resistencia.
 - 10.6. Soldadura heterogénea.
 - 10.7. Metalurgia de la soldadura.
 - 10.8. Uniones por adhesivos.
 - 10.9. Tecnología de la adhesión.
 - 10.10. Tipos de adhesivos.
 - 10.11. Uniones mecánicas
- 11. Tema 11. Procesos de mecanizado (6h).
 - 11.1. Introducción.
 - 11.2. Elementos básicos.
 - 11.3. Movimientos fundamentales.
 - 11.4. Máquinas y herramientas.
 - 11.5. Procesos Básicos.
 - 11.6. Torneado.

- 11.7. Fresado.
- 11.8. Taladrado.
- 11.9. Parámetros fundamentales.
- 11.10. Roscado y operaciones especiales.
- 11.11. Otros Procesos de mecanizado.
- 11.12. Mecanizado con Abrasivos.
- 12. Tema 12. Procesos no convencionales de mecanizado (2h).
 - 12.1. Procesos de Conformado no Convencionales.
 - 12.2. Clasificación. Electroerosión.
 - 12.3. Corte por hilo.
 - 12.4. Corte por plasma y por láser.
 - 12.5. Corte por Chorro de Agua.
 - 12.6. Mecanizado químico y electroquímico.
- 13. Tema 13. Conformado de Materiales Poliméricos y Compuestos (4h).
 - 13.1. Conformado por fusión y moldeo.
 - 13.2. Inyección.
 - 13.3. Extrusión.
 - 13.4. Moldeo por soplado.
 - 13.5. Termoconformado.
 - 13.6. Fabricación de espumas.
 - 13.7. Materiales compuestos.
 - 13.8. Fabricación de compuestos en molde abierto.
 - 13.9. Fabricación en molde cerrado.
 - 13.10. Otros procesos de conformación.
- 14. Tema 14. Reciclado y sostenibilidad ambiental (2h).
 - 14.1. Introducción.
 - 14.2. Consumo de materiales y su crecimiento.
 - 14.3. El ciclo de vida de un material y criterios para su valoración. Definiciones y medidas.
 - 14.4. Gráficas de energía almacenada en un material.
 - 14.5. Diseño: la selección de materiales para un diseño ecológico.
 - 14.6. Sostenibilidad ambiental.
 - 14.7. Resumen y conclusiones.

PRÁCTICAS

Práctica 1. Medición con instrumentos de trazos. Características de los instrumentos. Determinación de la apreciación y la sensibilidad. Medidas con pie de rey y micrómetros.

Práctica 2. Patrones de medición.- Comprobación y calibración de instrumentos. Plan de calibración.

- Práctica 3. Control de defectos por métodos no destructivos. Ensayos con líquidos penetrantes y partículas magnéticas.
- Práctica 4. Ensayos no destructivos con ultrasonidos. Técnica de ensayo. Calibración de instrumentos.
- Práctica 5. Pulvimetalurgia. - Propiedades de los polvos. Compactación o prensado mecánico en frío. Sinterizado. Medida de propiedades en materiales sinterizados.
- Práctica 6. Conformado por deformación. Laminación. Condiciones y proceso.
- Practica 7. Soldadura por arco eléctrico. Equipos y procedimientos de soldadura. Técnica de la soldadura S.M.A.W., MIG-MAG y TIG. Soldadura por puntos.
- Práctica 8. Fabricación por mecanizado. El torno. Descripción y funcionamiento de la máquina. Operaciones básicas de torneado. Taladrado: máquinas y operaciones básicas.
- Práctica 9. Fabricación por mecanizado. La fresadora. Descripción, accesorios y operaciones básicas.
- Práctica 10. Selección de procesos mediante CES Edupack (I).
- Práctica 11. Selección de procesos mediante CES Edupack (II).

12.28. Universidad de Valladolid (Sistemas de producción y fabricación_4,5 ETCS)

Bloque I: Sistemas de Fabricación

1. Sistemas de Producción y Fabricación.
2. Procesos de fabricación.

Bloque II: Automatización Industrial

3. Arquitectura e Integración de los Sistemas de Producción Industrial.
4. Producción Integrada por Computador.

Bloque III: Simulación y Evaluación de Procesos

5. Simulación de Sistemas de Producción.
6. Evaluación y Control de Sistemas de Producción Industrial.

12.29. Universidad de Vigo (Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación _6 ETCS). Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín

1. Unidad didáctica 1. INTRODUCCIÓN Semana 1 (1h)

- 1.1. Tema 1. Introducción a las tecnologías de fabricación.

2. Unidad didáctica 2. METROLOGÍA Y METROTECNIA Semanas 1-3 (3h)

- 2.1. Tema 2. Principios de Metrología Dimensional.
- 2.2. Tema 3. Instrumentos y métodos de medida.

- 2.3. Tema 4. Medición por coordenadas.
- 2.4. Tema 5. Medición por imagen.
- 3. Unidad didáctica 3. PROCESOS DE CONFORMADO POR ARRANQUE DE MATERIAL Semanas 3-6 (8h)**
 - 3.1. Tema 6. Introducción al conformado por arranque de material.
 - 3.2. Tema 7. Fundamentos y teorías del corte.
 - 3.3. Tema 8. Torneado: operaciones, máquinas y utillaje.
 - 3.4. Tema 9. Fresado: operaciones, máquinas y utillaje.
 - 3.5. Tema 10. Mecanizado de agujeros con movimiento principal rectilíneo: operaciones, máquinas y utillaje.
 - 3.6. Tema 11. Conformado con abrasivos: operaciones, máquinas y utillaje.
 - 3.7. Tema 12. Procesos de mecanizado no convencionales.
- 4. Unidad didáctica 4. AUTOMATIZACIÓN Y GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN Semanas 7-8 (2h)**
 - 4.1. Tema 13. Control Numérico de máquinas-herramienta.
- 5. Unidad didáctica 5. PROCESOS DE CONFORMADO DE MATERIALES EN ESTADO LÍQUIDO Y GRANULAR Semanas 8-10 (5h)**
 - 5.1. Tema 14. Aspectos generales del conformado por fundición de metales.
 - 5.2. Tema 15. Modelos, moldes y cajas de machos.
 - 5.3. Tema 16. Tecnología de la fusión, colada y acabado.
 - 5.4. Tema 17. Equipos y hornos empleados en fundición.
 - 5.5. Tema 18. Conformación de materiales granulares: pulvimetalurgia.
- 6. Unidad didáctica 6. PROCESOS DE CONFORMADO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE METALES Semanas 11-13 (4h)**
 - 6.1. Tema 19. Aspectos generales del conformado por deformación plástica.
 - 6.2. Tema 20. Procesos de laminación y forja.
 - 6.3. Tema 21. Procesos de extrusión y estirado.
 - 6.4. Tema 22. Procesos de conformado de la chapa.
- 7. Unidad didáctica 7. PROCESOS DE CONFORMADO POR UNIÓN Semana 14 (3h)**
 - 7.1. Tema 23. Tecnología del proceso de soldadura.
 - 7.2. Tema 24. Procesos de unión y montaje sin soldadura.
- 8. Práctica 1: Metrotecnica Duración: 2 horas.**
 - 8.1. Objetivos y desarrollo: Medición directa e indirecta. Utilización de los aparatos convencionales de metrología. Medición de piezas utilizando el pie de rey normal y de profundidades, y micrómetro de exteriores y de interiores. Empleo de reloj comparador. Mediciones directas con goniómetro. Comprobación de superficies planas. Uso de calibres pasa/no pasa, reglas,

escuadras y calas patrón. Medición y comprobación de roscas. Realización de mediciones métricas y en unidades del sistema anglosajón. Comprobación de un cono utilizando rodillos y un pie de rey, medición de una cola de milano utilizando rodillos, medición de los ángulos de una doble cola de milano y comprobación de la inclinación de una cuña utilizando una regla de senos. Vinculación con contenidos teóricos: Unidad didáctica 2. Ubicación: Semana 2. Lugar: Laboratorio de Materiales.

9. Práctica 2: Fabricación con máquinas herramientas convencionales. Duración: 2 horas.

9.1. Objetivos y desarrollo: Fabricación con máquinas herramientas convencionales. Fabricación de una pieza empleando el torno, la fresa y taladradora convencionales, definiendo las operaciones básicas y realizándolas sobre la máquina. Vinculación con contenidos teóricos: Unidad didáctica 3. Ubicación: Semana 4. Lugar: Laboratorio de Materiales.

10. Práctica 3: Hoja de procesos. Duración: 2 horas.

10.1. Objetivos y desarrollo: Selección de condiciones de corte asistida por ordenador. Consiste en la realización de las hojas de proceso de diversas piezas utilizando un programa de planificación de procesos asistida por ordenador. Vinculación con contenidos teóricos: Unidad didáctica 3. Ubicación: Semana 6. Lugar: Aula de Informática sin concretar.

11. Práctica 4: Iniciación al control numérico. Duración: 2 horas.

11.1. Objetivos y desarrollo: Realización de un programa en CNC utilizando un simulador, con las órdenes principales y más sencillas. Vinculación con contenidos teóricos: Unidades didácticas 3 y 4. Ubicación: Semana 8. Lugar: Aula de Informática sin concretar.

12. Práctica 5: Iniciación al control numérico aplicado al torno. Duración: 2 horas.

12.1. Objetivos y desarrollo: Realización de un programa en CNC utilizando un simulador, con las órdenes principales y más sencillas. Vinculación con contenidos teóricos: Unidades didácticas 3 y 4. Ubicación: Semana 10. Lugar: Aula de Informática sin concretar.

13. Práctica 6: Iniciación al control numérico aplicado a la fresa. Duración: 2 horas.

13.1. Objetivos y desarrollo: Realización de un programa en CNC utilizando un simulador, con las órdenes principales y más sencillas. Vinculación con contenidos teóricos: Unidades didácticas 3 y 4. Ubicación: Semana 12. Lugar: Aula de Informática sin concretar.

14. Práctica 7: Soldadura. Duración: 2 horas.

14.1. Objetivos y desarrollo: Conocimiento de diferentes equipos de soldadura eléctrica. Soldeo de diferentes materiales empleando diferentes

técnicas. Vinculación con contenidos teóricos: Unidad didáctica 8. Ubicación: Semana 14. Lugar: Laboratorio de Materiales. Las prácticas de laboratorio o de aula de informática programadas podrán variar en contenidos y en orden dependiendo del material disponible para su realización, así como de las necesidades organizativas del curso académico.

12.30. Universidad de Vigo (Fundamentos de sistemas y tecnologías de fabricación _6 ETCS). Escuela de Ingeniería Industrial.

1. UNIDAD DIDÁCTICA 1. INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE FABRICACIÓN

1.1. Lección 1. INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE FABRICACION.

El ciclo productivo. Clasificación de industrias. Tecnologías de fabricación

1.2. Lección 2. PRINCIPIOS DE METROLOGÍA DIMENSIONAL.

Introducción. Definiciones y conceptos. El Sistema Internacional de Unidades. Magnitudes físicas que abarca la Metrología Dimensional. Elementos que intervienen en la medición. Clasificaciones de los métodos de medida. Patrones. La cadena de trazabilidad. Calibración. Incertidumbre. Cadena de calibración y transmisión de la incertidumbre. Relación entre tolerancia e incertidumbre. Expresión de la incertidumbre de medida en calibración.

2. UNIDAD DIDÁCTICA 2. METROTECNIA.

2.1. Lección 3. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDIDA.

Introducción. Patrones. Instrumentos de verificación. Patrones interferométricos. Principios de interferometría. Instrumentos de medida directa. Métodos e instrumentos de medida indirecta

2.2. Lección 4. MEDICIÓN POR COORDENADAS. MEDICIÓN POR IMAGEN. CALIDAD SUPERFICIAL.

Máquinas de medición por coordenadas. Concepto. Principios de las MMC. Clasificación de las máquinas. Principales componentes de las MMC. Proceso a seguir para el desarrollo de una medida. Sistemas de medición por imagen. Calidad Superficial. Métodos de medida de la rugosidad. Parámetros de rugosidad

3. UNIDAD DIDÁCTICA 3. PROCESOS DE CONFORMADO POR ARRANQUE DE MATERIAL

3.1. Lección 5. INTRODUCCIÓN AL CONFORMADO POR ARRANQUE DE MATERIAL.

Introducción. Movimientos en el proceso de arranque de material. Factores a tener en cuenta en la elección de la herramienta. Geometría de herramienta. Materiales de herramienta. Mecanismo de formación de la viruta. Tipos de virutas. Potencia y fuerzas de corte. Desgaste de herramienta. Criterios de desgaste de herramienta. Determinación de la vida de la herramienta. Fluidos de corte

3.2. Lección 6. TORNEADO: OPERACIONES, MAQUINAS Y UTILLAJE.

Introducción. Principales operaciones en torno. La máquina-herramienta: el torno. Partes principales del torno. Montaje o sujeción de piezas. Herramientas típicas del torno. Tornos especiales

3.3. Lección 7. FRESADO: OPERACIONES, MÁQUINAS Y UTILLAJE.

Introducción. Descripción y clasificación de las operaciones de fresado. Partes y tipos principales de fresadoras. Tipos de fresas. Montaje de la herramienta. Sujeción de piezas. Diferentes configuraciones de fresadoras. Fresadoras especiales

3.4. Lección 8. MECANIZADO DE AGUJEROS Y CON MOVIMIENTO PRINCIPAL RECTILÍNEO: OPERACIONES, MÁQUINAS Y UTILLAJE.

Introducción a las operaciones de mecanizado de agujeros. Taladradoras. Mandrinadoras. Características generales de los procesos de mecanizado con movimiento principal rectilíneo. Limadora. Mortajadora. Cepilladora. Brochadora. Sierras.

3.5. Lección 9. CONFORMADO CON ABRASIVOS: OPERACIONES, MÁQUINAS Y UTILLAJE.

Introducción a las operaciones de mecanizado de agujeros. Muelas abrasivas. Operación de rectificación. Tipos de rectificadoras. Honeado. Lapeado. Pulido. Bruñido. Superacabado

3.6. Lección 10. PROCESOS DE MECANIZADO NO CONVENCIONALES.

Introducción. El mecanizado por electroerosión o electro-descarga. Mecanizado electroquímico. Mecanizado por láser. Mecanizado por chorro de agua. Corte por arco de plasma. Mecanizado por ultrasonidos. Fresado químico

4. UNIDAD DIDÁCTICA 4. AUTOMATIZACIÓN Y GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN.

4.1. Lección 11. CONTROL NUMÉRICO DE MÁQUINAS HERRAMIENTA.

Introducción. Ventajas de la aplicación del CN en las máquinas herramienta. Información necesaria para la creación de un programa de CN. Programación manual de MHCN. Tipos de lenguaje de CN. Estructura de un programa en código ISO. Caracteres empleados. Funciones preparatorias (G__). Funciones auxiliares (M__). Interpretación de las principales funciones. Ejemplos. Programación automática en control numérico.

5. UNIDAD DIDÁCTICA 5. PROCESOS DE CONFORMADO DE MATERIALES EN ESTADO LÍQUIDO Y GRANULAR

5.1. Lección 12. ASPECTOS GENERALES DEL CONFORMADO POR FUNDICIÓN DE METALES.

Introducción. Etapas en el conformado por fundición. Nomenclatura de las principales partes del molde. Materiales empleados en el conformado por fundición. Flujo del fluido en el sistema de alimentación. Solidificación de los metales. Contracción de los metales. El rechupe. Procedimiento de cálculo del sistema distribución de colada. Consideraciones sobre diseño y defectos en piezas fundidas.

5.2. Lección 13. PROCESOS DE FABRICACIÓN POR FUNDICIÓN.

Clasificación de los procesos de fundición. Moldeo en arena. Moldeo en cáscara. Moldeo en yeso. Moldeo en cerámica. Moldeo al CO₂. Moldeo a la cera perdida

Fundición en molde lleno. Moldeo Mercast. Moldeo en molde permanente. Fundición inyectada. Fundición centrífuga. Hornos empleados en fundición.

5.3. Lección 14. METALURGIA DE POLVOS (PULVIMETALURGIA).

Introducción. Fabricación de los polvos metálicos. Características y propiedades de los polvos metálicos. Dosificación y mezcla de polvos metálicos. Compactación. Sinterizado. Hornos de sinterización. Sinterizado por descarga disruptiva. Presinterizado. Operaciones posteriores. Consideraciones de diseño. Productos obtenibles por sinterización.

5.4. Lección 15. CONFORMADO DE PLÁSTICOS.

Introducción. Clasificación materiales poliméricos. Propiedades físicas de polímeros. Clasificación de los procesos. Moldeo por extrusión. Moldeo por inyección. Moldeo por compresión. Moldeo por transferencia. Moldeo rotacional. Termoconformado

6. UNIDAD DIDÁCTICA 6. PROCESOS DE CONFORMADO POR UNIÓN.

6.1. Lección 16. PROCESOS DE SOLDADURA.

Introducción a los procesos de soldadura. Soldadura con arco eléctrico. Soldadura por resistencia. Soldadura con oxígeno y gas combustible. Soldadura con temperatura de fusión de metal de aporte menor que la de los metales a unir.

6.2. Lección 17. PROCESOS DE UNIÓN Y MONTAJE SIN SOLDADURA.

Procesos de unión mediante adhesivos. Resistencia a la adhesión. Condiciones para el pegado. Diseño de uniones Tipos de adhesivos según origen y composición. Procesos de unión mecánica. Uniones mecánicas desmontables y permanentes

7. UNIDAD DIDÁCTICA 7. PROCESOS DE CONFORMADO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE METALES

7.1. Lección 18. ASPECTOS GENERALES DEL CONFORMADO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA.

Introducción. Curvas de esfuerzo-deformación. Expresiones de la deformación. Constancia del volumen. Modelos aproximados de la curva esfuerzo real-deformación natural. Estado de deformación plana. Procesos primarios y secundarios. Procesos de trabajo en caliente y en frío. Condiciones y control del proceso.

7.2. Lección 19. PROCESOS DE LAMINACIÓN Y FORJA.

Laminación: fundamentos; temperatura de laminación; equipos para la laminación en caliente; características, calidad y tolerancias de los productos laminados en caliente; laminación en frío. Forja: libre; en matriz de impresión; en prensa; por recalado; encabezamiento en frío; por laminación; en frío.

7.3. Lección 20. EXTRUSIÓN, EMBUTICIÓN Y AFINES.

Extrusión. Estirado de barras y tubos. Trefilado. Reducción de sección.

Embutición. Repujado en torno. Piezas realizables por repujado: consideraciones de diseño. Conformación por estirado. Conformación con almohadillas de caucho y con líquido a presión. Conformación a gran potencia.

7.4. Lección 21. CONFORMADO DE CHAPA METÁLICA.

Curvado o doblado de chapas. Curvado con rodillos. Conformado con rodillos. Enderezado. Engatillado. Operaciones de corte de chapa.

8. PROGRAMA DE PRÁCTICAS

8.1. Práctica 1.- Utilización de los aparatos convencionales de metrología.

Medición de piezas utilizando pie de rey normal y de profundidades y micrómetro de exteriores e interiores. Empleo de reloj comparador. Comprobación de superficies planas. Uso de calibres pasa/no pasa, reglas, escuadras y calas patrón. Medición y comprobación de roscas. Realización de mediciones métricas y en unidades inglesas.

8.2. Práctica 2.- Mediciones indirectas.

Comprobación de un cono utilizando rodillos y un pie de rey, medición de una cola de milano utilizando rodillos, medición de los ángulos de una doble cola de milano y mediciones utilizando una regla de senos. Mediciones directas con goniómetro.

8.3. Práctica 3.- Máquina de medición por coordenadas.

Establecer un sistema de coordenadas. Comprobar medidas en pieza, utilizando una máquina de medir por coordenadas. Verificar tolerancias forma y posición.

8.4. Práctica 4.- Fabricación con máquinas herramientas convencionales.

Fabricación de una pieza empleando el torno, la fresadora y el taladro convencionales, definiendo las operaciones básicas y realizándolas sobre la máquina.

8.5. Práctica 5.- Selección de condiciones de corte asistida por ordenador.

Realización de hojas de proceso de tres piezas utilizando programa de planificación de procesos asistida por ordenador

8.6. Práctica 6, 7 y 8.- Iniciación al control numérico aplicadas al torno y a la fresadora.

Realización de un programa en CNC utilizando un simulador, con las órdenes principales y más sencillas; realizando al final diversas piezas tanto en el torno como en la fresadora del aula taller.

8.7. Práctica 9.- Soldadura.

Conocimiento de diferentes equipos de soldadura eléctrica. Soldeo de diferentes materiales empleado las técnicas de electrodo revestido, TIG y MIG

12.31. Universidad de Zaragoza (Tecnologías de fabricación I y II_6 ETCS)

Tecnologías de fabricación I

Temario teórico-práctico

- 1. Concepto de fabricación y Clasificación general de los procesos de fabricación.**
- 2. Metrología**
 - 2.1. Inspección y metrología industrial.
 - 2.2. Aseguramiento de la medición.
 - 2.3. Sistemas y métodos de medida.
- 3. Calidad**
 - 3.1. Conceptos fundamentales de la calidad.
 - 3.2. Gestión de la calidad
 - 3.3. Planificación de la calidad.
 - 3.4. Calidad en diseño de producto y de proceso.
 - 3.5. Calidad en fabricación.
- 4. Fundamentos de los procesos de mecanizado.**
 - 4.1. Movimientos y parámetros en los procesos de mecanizado.
 - 4.2. Aspectos tecnológicos de los procesos de torneado, taladrado y fresado.
 - 4.3. Herramientas: materiales, geometría y criterios de selección.
 - 4.4. Procesos de mecanizado mediante abrasivos
 - 4.5. Procesos de mecanizado no convencionales: EDM...
- 5. Mecánica del corte y economía de mecanizado**
 - 5.1. Mecánica de formación de la viruta.
 - 5.2. Cinemática y dinámica del corte.
 - 5.3. Balance energético del mecanizado.
 - 5.4. Desgaste de herramientas y Lubricación.
 - 5.5. Mecanizado de alta velocidad.
 - 5.6. Optimización del mecanizado.
- 6. Sistemas de Fabricación.**
 - 6.1. Caracterización de los sistemas de fabricación y su automatización.
 - 6.2. Utilajes.
 - 6.3. Criterios de selección de equipos para mecanizado.
 - 6.4. Programación de máquina herramienta.
7. Planificación de procesos.

Prácticas de laboratorio

- 1) Medición geométrica con sistemas convencionales y con sistemas de medir de tres coordenadas.
- 2) Medición y calibración en metrología dimensional.
- 3) QFD y AMFE.
- 4) Procesos de torneado, taladrado y fresado.

- 5) Programación de máquina herramienta.
- 6) Procesos de rectificado y electroerosión.

Tecnologías de fabricación II

Temario teórico-práctico

- 1. Introducción a los procesos sin arranque de viruta y su clasificación**
- 2. Procesos de preformación por moldeo**
 - 2.1. Procesos de fundición, moldeo e inyección
- 3. Procesos de conformación por deformación plástica de metales**
 - 3.1. Fundamentos de deformación metálica
 - 3.2. Laminación
 - 3.3. Forja
 - 3.4. Extrusión y estirado
 - 3.5. Conformación de chapa y tubo
- 4. Procesos de unión y ensamblaje**
 - 4.1. Procesos de soldeo y su metalurgia
 - 4.2. Procesos de corte térmico
 - 4.3. Montaje con adhesivos
 - 4.4. Otros procesos de unión y ensamblaje

Prácticas de laboratorio/sala

Se realizarán dos sesiones de 3 horas en cada uno de los siguientes bloques.

- 1) Fundición / moldeo / inyección.
- 2) Deformación metálica por plastificación
- 3) Construcciones metálicas: Montaje, uniones desmontables y uniones permanentes por soldeo con su defectología e inspección.

12.32. Universidad del País Vasco (Sistemas de Producción y Fabricación_6 ETCS)

- 1. METROTECNIA**
 - 1.1. Introducción a la Metrotecnica.
 - 1.2. Características de las mediciones.
 - 1.3. Instrumentos y patrones de medición.
 - 1.4. Tolerancias. Incertidumbre de medida.
 - 1.5. Tolerancias de aceptación.
 - 1.6. Análisis de un sistema de medición.
 - 1.7. Control estadístico de los procesos de fabricación.

2. UNIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS. SOLDADURA

- 2.1. Conceptos básicos de soldadura.
- 2.2. Soldabilidad de los metales.
- 2.3. Energía de aportación.
- 2.4. Enfriamiento y solidificación.
- 2.5. Metalurgia de la soldadura.
- 2.6. Soldadura homogénea por arco eléctrico (fundamentos y procesos más característicos).
- 2.7. Soldadura homogénea por resistencia eléctrica.
- 2.8. Soldadura heterogénea.

3. CONFORMACIÓN POR MOLDEO

- 3.1. Moldeo en arena.
- 3.2. Fundamentos y clasificación.
- 3.3. Elementos del molde.
- 3.4. Diseño del proceso.
- 3.5. Introducción a los procesos automatizados.
- 3.6. Moldeo en cáscara.
- 3.7. Moldeo a la cera perdida (Investment casting).
- 3.8. Fundición en molde permanente.
- 3.9. Gravedad, Baja presión, Inyección.

4. CONFORMADO PLÁSTICO DE METALES

- 4.1. Introducción a la teoría de la deformación plástica.
- 4.2. Procesos y productos.
- 4.3. Tipos de procesos.
- 4.4. Procesos de deformación en caliente.
- 4.5. Forja.
- 4.6. Procesos continuos y semi-continuos.
- 4.7. Laminación, extrusión, estirado y trefilado.
- 4.8. Procesos de deformación en frío.
- 4.9. Conformado de chapa.
- 4.10. Tipos de máquinas.

5. MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

- 5.1. Introducción a los procesos de mecanizado.
- 5.2. Clasificación.
- 5.3. Maquinabilidad.
- 5.4. Fuerzas en mecanizado.
- 5.5. Fundamentos sobre herramientas de corte.
- 5.6. Procesos: Torneado y Fresado.

- 5.7. Tipos de máquinas.
- 5.8. Introducción al Control Numérico – CNC.
- 5.9. Economía del mecanizado.

12.33. Universidad Jaime I de Castellón (Tecnologías de Fabricación_6 ETCS)

- 1. BLOQUE TEMÁTICO I: TOLERANCIAS DIMENSIONALES, GEOMÉTRICAS Y METROLOGÍA**
 - 1.1. Tema 1. Tolerancias dimensionales y geométricas.
 - 1.2. Tema 2. Metrología industrial.
 - 1.3. Tema 3. Técnicas de medición e inspección.
- 2. BLOQUE TEMÁTICO II: PROCESOS DE CONFORMADO DE METALES SIN ARRANQUE DE VIRUTA**
 - 2.1. Tema 4. Materiales de ingeniería: Metales.
 - 2.2. Tema 5. Fundamentos del conformado por moldeo.
 - 2.3. Tema 6. Procesos de conformado por moldeo.
 - 2.4. Tema 7. Fundamentos del conformado por deformación plástica.
 - 2.5. Tema 8. Procesos de conformado por deformación plástica de metales.
 - 2.6. Tema 9. Fundamentos del trabajo de la chapa. Procesos
- 3. BLOQUE TEMÁTICO III: PROCESOS DE CONFORMADO DE METALES CON ARRANQUE DE VIRUTA**
 - 3.1. Tema 10. Fundamentos del conformado por arranque de viruta.
 - 3.2. Tema 11. Torneado.
 - 3.3. Tema 12. Fresado.
 - 3.4. Tema 13. Taladrado y otros procesos de mecanizado.
 - 3.5. Tema 14. Procesos de mecanizado con abrasivos.
 - 3.6. Tema 15. Procesos especiales de mecanizado.
- 4. BLOQUE TEMÁTICO IV: OTROS PROCESOS DE CONFORMADO**
 - 4.1. Tema 16. Procesos de conformado de materiales plásticos.
 - 4.2. Tema 17. Procesos de conformado de materiales cerámicos.
 - 4.3. Tema 18. Procesos de conformado de materiales compuestos.
 - 4.4. Tema 19. Procesos de recubrimiento y deposición de metales.
- 5. Las prácticas de laboratorio se dividen en las siguientes 5 sesiones:**
 - 5.1. Laboratorio 1: Conocimiento y manejo de equipos e instrumentos de medida. Calibración de un instrumento de medida.
 - 5.2. Laboratorio 2: Verificación de las características dimensionales y geométricas de una pieza.

- 5.3. Laboratorio 3: Conformado de piezas metálicas por moldeo y deformación plástica.
- 5.4. Laboratorio 4: Conformado por arranque de viruta: limado, mortajado y torneado
- 5.5. Laboratorio 5: Conformado por arranque de viruta: fresado, mecanizado de agujeros y roscado

12.34. Universidad Loyola Andalucía (Manufacturing Technology_6 ETCS)

- 1. Lesson 1: Introduction
- 2. Lesson2: Casting processes
- 3. Lesson 3: Metal rolling processes
- 4. Lesson 4: Metal forging processes
- 5. Lesson 5: Extrusion processes
- 6. Lesson 6: Sheet-metal forming processes
- 7. Lesson 7: Powder-metal processes
- 8. Lesson 8: Ceramic and glasses processes
- 9. Lesson 9: Plastics and composite materials processes
- 10. Lesson 10: Machining processes
- 11. Lesson 11: Turning and hole making
- 12. Lesson 12: Milling, broaching and sawing
- 13. Lesson 13: Advanced machining processes
- 14. Lesson 14: Joining processes
- 15. Lesson 15: Numeric control machines and CAD/CAM

12.35. Universidad Miguel Hernández de Elche (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

- 1. UNIDAD DIDÁCTICA 1. TECNOLOGÍA MECÁNICA EN MATERIALES METALÚRGICOS.**
 - 1.1. Temas de teoría
 - 1.2. Introducción a los aceros.
 - 1.3. Tratamientos térmicos y termoquímicos
 - 1.4. Soldadura
 - 1.5. Fabricación por corte
 - 1.6. Fusión y moldeo
 - 1.7. Fabricación por deformación
 - 1.8. Pulvimetalurgia

- 1.9. Fabricación por arranque de viruta
- 1.10. Temas de práctica
- 1.11. Soldadura de detalle constructivo
- 1.12. Moldeo por gravedad en molde permanente
- 1.13. Taladrado y fresado
- 1.14. Torneado convencional y CNC

2. UNIDAD DIDÁCTICA 2. METROTECNIA

- 2.1. Temas de teoría
- 2.2. Metrotecnica
- 2.3. Temas de práctica
- 2.4. Cálculo de incertidumbre de un aparato de medida.

3. UNIDAD DIDÁCTICA 3. TECNOLOGÍA MECÁNICA EN OTROS MATERIALES

- 3.1. Temas de teoría
- 3.2. Procesado de plásticos
- 3.3. Procesado industrial del vidrio. Nociones generales
- 3.4. Temas de práctica
- 3.5. Estudio y análisis de piezas fabricadas en plástico.

12.36. Universidad Nacional de Educación a Distancia (Tecnologías de Fabricación_5 ETCS)

- 1. Tema 1. Introducción a las tecnologías de fabricación
- 2. Tema 2. Tecnologías de los procesos de moldeo
- 3. Tema 3. Tecnologías del conformado por deformación plástica
- 4. Tema 4. Tecnologías de los procesos de mecanizado
- 5. Tema 5. Introducción a la automatización de procesos y sistemas de fabricación
- 6. Tema 6. Máquinas-herramienta con control numérico
- 7. Tema 7. Programación básica de máquinas-herramienta con control numérico
- 8. Tema 8. Programación avanzada de máquinas-herramienta con control numérico
- 9. Tema 9. Sistemas automatizados de fabricación y montaje
- 10. Tema 10. Aspectos competitivos de los sistemas de fabricación

12.37. Universidad Nebrija (*Industrial processes I_6 ETCS*)

- 1. *Introduction. Manufacturing within the company and environment of the manufacturing processes.*
 - 1.1. *Supply Chain.*
 - 1.2. *Tight production, continuous flow, cellular,.....*

- 1.3. *Manufacturing economics, costs.*
- 1.4. *Quality and competitiveness. Quality assurance and management*
- 2. *Welding and joining processes*
 - 2.1. *Introduction. Different systems*
 - 2.2. *Welding fundamentals.*
 - 2.3. *Welding methods*
 - 2.4. *Finishing and surface treatment*
- 3. *Plastic deformation forming processes*
 - 3.1. *Deformation forming: plastic deformation fundamentals, work hardener, recrystallization*
 - 3.2. *Lamination*
 - 3.3. *Forging and extrusion.*
 - 3.4. *Stretching and drawing*
 - 3.5. *Sheet metal forming: cutting and punching.*
 - 3.6. *Sheet metal forming: bending*
 - 3.7. *Sheet metal forming: drawing*
- 4. *Manufacture by Casting*
 - 4.1. *Introduction. Foundry. Materials. Applications*
 - 4.2. *Moulding methods. General concepts.*
 - 4.3. *Disposable moulds.*
 - 4.4. *Design Aspects in Moulding*

12.38. Universidad Politécnica de Cartagena (Ingeniería de fabricación_6 ETCS)

- 1. UNIDAD DIDÁCTICA I. PROCESOS DE MECANIZADO**
 - 1.1. Tema 1. Introducción a los procesos de mecanizado y teoría del corte (T1)
 - 1.2. Tema 2. Procesos de mecanizado convencionales (T2)
 - 1.3. Tema 3. Procesos de mecanizado no convencionales (T3)
 - 1.4. Tema 4. Rectificado y otros procesos de acabado (T4)
- 2. UNIDAD DIDÁCTICA II. DURACIÓN DE LA HERRAMIENTA Y ECONOMÍA DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO**
 - 2.1. Tema 5. Desgaste, duración de la herramienta y chatter (T5)
 - 2.2. Tema 6. Fundamentos de la economía de mecanizado (T6)
 - 2.3. Tema 7. Criterios de selección de variables en economía de mecanizado (T7)
- 3. UNIDAD DIDÁCTICA III. INTRODUCCIÓN AL CONTROL NUMÉRICO Y SISTEMAS FLEXIBLES DE FABRICACIÓN**
 - 3.1. Tema 8. Arquitectura y programación de control numérico (T8)

3.2. Tema 9. Sistemas Flexibles de Fabricación (T9)

4. **Sesiones de Taller y Laboratorio:** Se desarrollan diferentes sesiones de prácticas en el taller de máquina herramienta, así como en el laboratorio de control numérico; con el objeto de que los alumnos se familiaricen y utilicen los principales tipos de máquinas-herramienta para la fabricación de componentes mecánicos, así como el desarrollo de programas de control numérico para la automatización de los procesos de fabricación. Las sesiones prácticas de taller y laboratorio a desarrollar serán las siguientes
- 4.1. **Práctica 1 (P1).** Procesos de mecanizado. Torno convencional I. (Taller de Máquinas-Herramienta).
 - 4.2. **Práctica 2 (P2).** Torno convencional II. (Taller de Máquinas-Herramienta).
 - 4.3. **Práctica 3 (P3).** Introducción a la fresadora universal y plato divisor. (Taller de Máquinas-Herramienta).
 - 4.4. **Práctica 4 (P4).** Planificación de procesos de fabricación I. (Laboratorio de CNC).
 - 4.5. **Práctica 5 (P5).** Planificación de procesos de fabricación II. (Laboratorio de CNC).
 - 4.6. **Práctica 6 (P6).** Introducción a la programación de CNC (Laboratorio de CNC).
 - 4.7. **Práctica 7 (P7).** Ciclos fijos de torno CNC. (Laboratorio de CNC).
 - 4.8. **Práctica 8 (P8).** Introducción a la programación de fresadora CNC. (Laboratorio de CNC).
 - 4.9. **Práctica 9 (P9).** Programación de ciclos fijos de fresadora CNC. (Laboratorio de CNC).
 - 4.10. **Práctica 10 (P10).** Máquinas-herramienta CNC industriales (Taller M-H del ELDI).

12.39. Universidad Politécnica de Cataluña (Tecnología Mecánica_6 ETCS)

1. **Introducción a la Tecnología Mecánica**
- 1.1. Introducción a la tecnología mecánica.
 - 1.2. Clasificación de los procesos de fabricación.
 - 1.3. Diseño del producto.
 - 1.4. Planificación de procesos.
 - 1.5. Fabricación flexible.
 - 1.6. Sistemas de Producción.
 - 1.7. Tendencias de futuro.
 - 1.8. Materiales utilizados en la industria.
 - 1.9. Obtención de los metales férricos.
 - 1.10. Procesos siderúrgicos.

- 1.11. Tratamientos Térmicos.
- 2. Metrología**
 - 2.1. Medición.
 - 2.2. Unidades y patrones de medida.
 - 2.3. Errores de medición.
 - 2.4. Medida de longitudes y de ángulos.
 - 2.5. Verificación por calibres de límites.
 - 2.6. Control de roscas. Sistemas de roscas.
 - 2.7. Control de Engranajes.
 - 2.8. Control del acabado superficial.
- 3. Conformado por Deformación Plástica**
 - 3.1. Fundamentos de la deformación plástica.
 - 3.1.1. Conformado de Chapa: Procesos de Corte, Embutición y Doblado.
 - 3.2. Procesos de forja: forja libre, forja con estampa, recalado.
 - 3.2.1. Máquinas para procesos de forja. Defectos de forja.
 - 3.3. Procesos de extrusión: extrusión directa, extrusión indirecta, extrusión hidrostática
 - 3.3.1. Utilajes y maquinaria de extrusión.
 - 3.3.2. Defectos de extrusión.
- 4. Conformado por Arranque de Viruta**
 - 4.1. Fundamentos de la teoría de corte.
 - 4.2. Movimientos de corte.
 - 4.3. Materiales de herramientas de corte.
 - 4.4. Duración de la herramienta.
 - 4.5. Criterios de desgaste de herramientas.
 - 4.6. Formación de la viruta.
 - 4.7. Velocidades de corte.
 - 4.8. Fuerzas de corte.
 - 4.9. Potencia en el corte.
 - 4.10. Lubricantes.
 - 4.11. Operaciones de Torneado.
 - 4.12. Herramientas de torneado.
 - 4.13. Influencia de los ángulos en el torneado.
 - 4.14. Potencia de torneado. Cálculo de tiempos en procesos de torneado.
 - 4.15. Operaciones de Fresado. Herramientas de fresado.
 - 4.16. Potencia de fresado.
 - 4.17. Cálculo de tiempos en procesos de fresado.
 - 4.18. Operaciones de Taladrado.

4.19. Herramientas de taladrado.

4.20. Potencia de taladrado.

5. Conformado por Fusión y Moldeo

5.1. Introducción al conformado por moldeo.

5.2. Modelos y Noyos.

5.3. Moldeo a mano.

5.4. Procesos de moldeo en cáscara.

5.5. Procesos de moldeo a la cera perdida.

5.6. Fundición en coquilla.

5.7. Fundición a presión.

5.8. Fundición a presión con cámara en caliente.

5.9. Fundición a presión con cámara en frío.

5.10. Fundición centrífuga.

5.11. Enfriamiento del metal en el molde.

5.12. Solidificación. Mazarotas.

5.13. Operaciones de acabado de las piezas fundidas.

5.14. Defectos y control de calidad de las piezas fundidas.

6. Soldadura

6.1. Fundamentos de la soldadura.

6.1.1. Conceptos de la tecnología de soldadura.

6.1.2. Clasificación de los procesos de soldadura.

6.1.3. Procesos de soldadura por fusión.

6.1.4. Soldadura oxiacetilénica.

6.1.5. Soldadura con electrodo consumible.

6.2. Soldadura con electrodo no consumible.

6.2.1. Soldadura eléctrica con arco sumergido.

6.2.2. Soldadura TIG.

6.2.3. Soldadura MIG/MAG.

6.2.4. Seguridad en la soldadura.

6.2.5. Defectología.

6.2.6. Técnicas de inspección y control de calidad.

7. Introducción al Control Numérico

7.1. Definición del control numérico.

7.1.1. Clasificación de los controles numéricos.

7.1.2. Ventajas e Inconvenientes del uso del control numérico.

7.1.3. Características de las maquinas herramienta de control numérico.

7.1.4. Sistema de control.

7.1.5. Tipos de programación en control numérico.

- 7.1.6. Estructura general de un programa de control numérico.
- 7.1.7. Programación ISO.
- 7.2. Programación paramétrica.
 - 7.2.1. Programación asistida por computadora (CAM).

NOTA: Hay dos asignaturas optativas de fabricación aditiva

12.40. Universidad Politécnica de Madrid (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS). Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial.

- 1. Tema 1: Clasificación de los procesos de fabricación**
 - 1.1. Criterios de clasificación de los procesos de fabricación L-01 / 02
 - 1.2. Conformado por moldeo
 - 1.3. Conformado por deformación plástica
 - 1.4. Conformado por eliminación de material
 - 1.5. Conformado por unión
 - 1.6. Tratamientos superficiales y recubrimientos
- 2. Tema 2: Metrología, ajustes y tolerancias**
 - 2.1. Normalización. Tolerancias y ajustes L-03 / 04 /05 /06 /07 /08
 - 2.2. Medidas longitudinales
 - 2.3. Medidas angulares
 - 2.4. Medidas de forma
 - 2.5. Medidas de acabado superficial
 - 2.6. Calibración de instrumentos
- 3. Tema 3: Conformado por Moldeo**
 - 3.1. Tecnología de la fusión L-09
 - 3.2. Hornos de fusión
 - 3.3. Procedimientos de moldeo
 - 3.4. Diseño de piezas, conductos y mazarotas
- 4. Tema 4: Conformado por Deformación Plástica**
 - 4.1. Fundamentos del conformado por deformación plástica L-10
 - 4.2. Forja
 - 4.3. Estampación 4.4 Laminación
 - 4.4. Estirado / trefilado
 - 4.5. Extrusión
- 5. Tema 5: Conformado por arranque de material**
 - 5.1. Aspectos tecnológicos del mecanizado L-11
 - 5.2. Teorías de corte de los metales

5.3. Estudio geométrico de las herramientas de corte

5.4. Mecánica del corte

6. Tema 6: Automatización de los procesos de fabricación y programación CN

6.1. Introducción a la automatización de los procesos de fabricación L-12

6.2. Dispositivos para almacenamiento, transporte y control

6.3. Programación de máquinas-herramienta con control numérico

6.4. Funciones preparatorias y auxiliares

6.5. Ciclos fijos de mecanizado

12.41. Universidad Politécnica de Madrid (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

1. MODULO 0: Información general de la asignatura

1.1. Tema 0: Información general de la asignatura

2. MODULO 1: Elementos básicos de la fabricación

2.1. Tema 1: Fabricación: sistemas computadorizados (1)

2.2. Tema 2: Fabricación: procesos, sectores, tendencias

2.3. Tema 3: Diseño orientado a fabricación

3. MODULO 2: Procesos

3.1. Tema 4: Moldeo, sinterizado, conformado plástico

3.2. Tema 5: Mecanizado y acabado

3.3. Tema 6: Medida, inspección, calidad

12.42. Universidad Politécnica de Valencia (Sistemas y Procesos de Fabricación_4,5 ETCS)

1. Introducción a los Sistemas y Procesos de Fabricación

1.1. Introducción a la Tecnología de Fabricación

2. Metrología Dimensional.

2.1. Fundamentos de Metrología Dimensional. Normalización

2.2. Equipos de medida

2.3. Incertidumbre de medida

3. Conformado de piezas con arranque de material

3.1. Fundamentos y tecnología del conformado por arranque de viruta

3.2. Procesos de Mecanizado: Torneado

3.3. Procesos de Mecanizado: Fresado

3.4. Procesos de Mecanizado por Abrasivos

4. Conformado de piezas sin arranque de material

- 4.1. Fundamentos y Tecnología de la Fundición y Moldeo de Metales
- 4.2. Procesos de conformado de metales por fundición y moldeo
- 4.3. Fundamentos, Tecnología y Procesos de Conformado de metales por Deformación Plástica.
- 5. Conformado por unión: Soldadura**
 - 5.1. Procesos de soldadura de metales
- 6. Conformado de materiales poliméricos**
 - 6.1. Procesos de conformado de materiales poliméricos y compuestos

12.43. Universidad Pompeu Fabra (Procesos de conformación_4 ETCS)

1. Introducción a los Sistemas de Fabricación

- 1.1 Concepto de proceso de fabricación. Su situación dentro de la organización de la empresa.
- 1.2 Tipos de procesos.
- 1.3 Tecnologías utilizadas en la fabricación de piezas.
- 1.4 Interrelaciones entre producto, función, forma, material y proceso.
- 1.5 Evolución de la fabricación. Fábrica convencional y Fábrica del futuro.

2. Obtención de piezas por moldeo

- 2.1 Obtención de piezas de fundición.
- 2.2 Obtención de piezas de plástico.
- 2.3 Obtención de piezas por sinterización.

3. Conformación de piezas por deformación plástica

- 3.1 Obtención de piezas de forja.
- 3.2 Obtención de piezas de extrusión.
- 3.3 Obtención de piezas de chapa.
- 3.4 Fabricación de tubos.

4. Obtención de piezas por corte de viruta

- 4.1 Las herramientas de corte.
- 4.2 Torneado.
- 4.3 Fresado.
- 4.4 Taladrado.
- 4.5 Rectificación.

5. Control Numérico (NC) y Fabricación Asistida por Ordenador (CAM)

- 5.1 Comparación de la máquina convencional con la máquina con control numérico.
- 5.2 Referencias históricas. Evolución de los controles numéricos y conceptos.
- 5.3 Ideas básicas de programación.
- 5.4 Sistemas CAM.

6. Otros procesos de fabricación

- 6.1 Electroerosión de penetración.

- 6.2 Electroerosión de hilo.
- 6.3 Erosión con ultrasonidos.
- 6.4 Corte con láser.
- 6.5 Corte con chorro de agua a presión.
- 6.6 Fabricación aditiva. Fabricación rápida de prototipos.

12.44. Universidad Pontificia Comillas (Tecnologías de fabricación_4,5 ETCS)

1. Introducción.

- 1.1. Ciclo de Fabricación.
- 1.2. Información para establecer un ciclo de fabricación.

2. Procesos de fundición.

- 2.1. Clasificación.
- 2.2. Fabricación de modelos, machos y moldes.
- 2.3. Materiales de moldeo.
- 2.4. Diseño y defectología.
- 2.5. Acabado y control de piezas fundidas.

3. Procesos de deformación.

- 3.1. Deformación en frío: punzonado, embutición, prensas.
- 3.2. Deformación en caliente: forjado, recalcado, laminación, extrusión.

4. Procesos de soldadura.

- 4.1. Tipos de soldadura: blanda, fuerte, oxiacetilénica, por arco con electrodo revestido, TIG, MIG y por resistencia.
- 4.2. Electrodo.
- 4.3. Proceso de soldeo.
- 4.4. Defectos.
- 4.5. Tensiones y deformaciones.

5. Procesos con arranque de material.

- 5.1. Variables que afectan a la precisión.
- 5.2. Formación de la viruta. Máquinas-herramienta convencionales y MHCN.
- 5.3. Utillajes de sujeción.
- 5.4. Herramientas de corte.
- 5.5. Programación de MHCN.
- 5.6. Economía del mecanizado.
- 5.7. Procesos posteriores al mecanizado.
- 5.8. Electroerosión.

6. Procesado de plásticos.

- 6.1. Consideraciones para el diseño de piezas de plástico.
- 6.2. Máquina de moldeo por inyección.
- 6.3. Constitución y función de los moldes.
- 6.4. Diseño de moldes.

7. Técnicas de verificación dimensional.

- 7.1. Vocabulario metrológico (VIM).
- 7.2. Causas de error en la medición.
- 7.3. Instrumentos de medida dimensionales y sus propiedades metrológicas.

- P1. Prácticas deformación y corte: prensa, plegadora.
- P2. Prácticas de Soldadura: TIG, MIG, SMAW.
- P3. Prácticas de Fundición: en arena y a la cera perdida.
- P4. Prácticas de Arranque de material.
- P5. Prácticas de Inyección de plástico.
- P6. Prácticas de MHCN y Fabricación Aditiva.

12.45. Universidad Pública de Navarra (Tecnología de fabricación mecánica_6 ETCS)

- 1. **Bloque temático 1.- Metrología:**
 - 1.1. Medición de roscas y engranajes.
 - 1.2. Medición de rugosidad superficial.
 - 1.3. Máquinas de medición por coordenadas.
 - 1.4. Cálculo de incertidumbres.
 - 1.5. Calibración de instrumentos.
 - 1.6. Plan de calibración.
- 2. **Bloque temático 2.- Procesos de conformado por deformación plástica:**
 - 2.1. Fundamentos de los procesos de conformado por deformación plástica.
 - 2.2. Procesos de estirado y trefilado.
 - 2.3. Procesos de forja y estampación.
 - 2.4. Procesos de extrusión.
 - 2.5. Procesos de laminación.
 - 2.6. Procesos de conformado de chapa.
- 3. **Bloque temático 3.- Máquinas-herramienta con control numérico:**
 - 3.1. Aspectos fundamentales de las máquinas-herramienta con control numérico.
 - 3.2. Centros de mecanizado.
 - 3.3. Centros de torneado.
 - 3.4. Programación de máquinas-herramienta con control numérico.
- 4. **Bloque temático 4.- Calidad en procesos y sistemas de fabricación:**

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Justificación y bases de la calidad.
- 4.3. Planificación de la calidad.
- 4.4. Calidad en fabricación.
- 4.5. Inspección y metrología.
- 5. **Bloque temático 5.- Procesos de fabricación no convencionales:**
 - 5.1. Prototipado rápido. Electroerosión por penetración y corte por hilo (EDM).
 - 5.2. Mecanizado por chorro de agua con y sin abrasivos.
 - 5.3. Mecanizado por ultrasonidos. Mecanizado por láser.
 - 5.4. Aplicaciones del plasma en procesos de fabricación.
 - 5.5. Mecanizado electroquímico.
 - 5.6. Mecanizado fotoquímico.
 - 5.7. Mecanizado a alta velocidad (MAV).

12.46. Universidad Rey Juan Carlos (Procesos de fabricación I_6 ETCS)

BLOQUE I

- 1. Tema 1. Introducción a los Sistemas de Fabricación y Producción.
- 2. Tema 2. El Sistema de Producción: Estructura funcional.

BLOQUE II

- 3. Tema 3. Metrología y Calidad.

BLOQUE III

- 4. Tema 4. Procesos de Conformado por Moldeo.
- 5. Tema 5. Procesos de Conformado por Deformación Plástica.
- 6. Tema 6. Procesos de Conformado por Arranque de Viruta.

12.47. Universidad Rovira i Virgili (Tecnología mecánica_6 ETCS)

- 1. **Tema 1: Metrologia i Verificació.**
 - 1.1. *Metrologia*
 - 1.2. *Verificació*
 - 1.3. *Instruments de mesura*
- 2. **Tema 2: Sistema de Toleràncies ISO**
 - 2.1. *Sistema de Toleràncies ISO.*
 - 2.2. *Toleràncies i Ajustos.*
 - 2.3. *Rugositat*

- 3. Tema 3: Processos de mecanitzat per arrencament de ferritja**
 - 3.1. Màquines-Eines
 - 3.2. Eines de Tall
 - 3.3. Processos Bàsics
 - 3.4. Operacions i Condicions de Tall de Diferents Màquines-Eines
 - 3.5. Càlculs de temps de mecanitzat
- 4. Tema 4: Control Numèric (CNC).**
 - 4.1. CNC amb torn
- 5. Tema 5: Foneria**
 - 5.1. Emmotllament en sorra
 - 5.2. Emmotllament en motlles metàl·lics
 - 5.3. Conformat de polímers
- 6. Tema 6: Conformació per deformació plàstica**
 - 6.1. Deformació Plàstica.
 - 6.2. Deformació en Fred i en Calent.
 - 6.3. Processos de Conformació (Forja, Laminació, Extrusió, Trefilat, Recalcat)
 - 6.4. Conformat de xapa (Estampació, Embotició, Doblegat, Tall).
- 7. Tema 7: Soldadura**
 - 7.1. Terminologia.
 - 7.2. Condicions per portar a terme una soldadura. Tipus de Unió.
 - 7.3. Tipus de Soldadura.
- 8. Procediments: Soldadura Tova, Forta, oxigas, per arc elèctric, per Resistència i altres procediments**
9. Aplicació pràctica de diferents processos de la tecnologia de fabricació i especialment pel que fa a la metrotècnia, el mecanitzat amb màquines – eina, la foneria, la injecció de plàstics, la conformació per deformació plàstica, la soldadura, i CNC.

**13. ANEXO 4: PLANES DE ESTUDIO DE
LAS UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS
QUE IMPARTEN GRADO EN
INGENIERÍA MECÁNICA O
ELECTROMECAÁNICA**

Este apartado reúne la información sobre los planes de estudio de la formación de Grado en Ingeniería Mecánica o Electromecánica (nivel MECES 2 según el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior y es equivalente a un *Bachelors' level 6* según el Marco Europeo de ([European Qualification Framework, EQF](#))) que se imparte en la actualidad en la Universidad española y que son publicados por cada Universidad a través de internet.

Además del nombre de la Universidad y la información sobre el plan de estudios correspondiente, se adjunta el vínculo electrónico para facilitar la localización de los datos. También se incluye el nombre que cada Universidad ha elegido para denominar la asignatura relacionada con la fabricación y el número de créditos ECTS de dicha asignatura.

Cada universidad diseña sus propios títulos, por eso hay distintas denominaciones de las asignaturas y diferentes temarios entre las distintas Universidades. Esta es la razón por lo que actualmente los títulos no sólo se refieren a la formación adquirida sino que llevan consigo la universidad que lo ha impartido. Por ejemplo “Graduado en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional de Educación a Distancia”.

En el caso de Grado en Ingeniería Mecánica, el periodo formativo general es de 4 años y el Graduado/a debe haber superado las asignaturas correspondientes a 240 ECTS. Los planes de estudios de Grado contienen como mínimo las actividades formativas siguientes: materias básicas, materias obligatorias y materias optativas y un trabajo de fin de Grado.

El Gobierno es el encargado de evaluar cada título y en caso de que lo apruebe, incluirlo en el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT). Todos los títulos de Grado (también el Grado en Ingeniería Mecánica) tienen el mismo valor en el espacio Europeo.

Como se ha mencionado en el ANEXO 3, se recopila en este ANEXO 4 la información publicada por las universidades españolas con los planes de estudio pero se entrega de forma independiente debido a su extensión y para evitar desvirtuar el presente documento.