



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

APLICACIÓN DE LA POLÍTICA INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICA AL SECTOR DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Alumno: Christian Dieter Oliva Guerrero

Tutor: Prof. D. Manuel Herrera Torrero
Dpto: Organización de Empresas

Junio, 2023



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería de Organización Industrial

Don Manuel Herrera Torrero, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: APLICACIÓN DE LA POLÍTICA INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICA AL SECTOR DE LA FABRICACIÓN ADITIVA, que presenta Christian Dieter Oliva Guerrero, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, julio de 2023

El alumno: Christian Dieter Oliva Guerrero

El tutor: Manuel Herrera Torrero

Christian Dieter Oliva Guerrero

Manuel Herrera Torrero

Índice de contenido

1. Introducción	4
1.1 Antecedentes	4
2. Situación económica	5
2.1 Situación global	8
2.2 Situación en España	8
3. Procesos de fabricación	9
3.1 Tipos de fabricación	10
3.1.1 Fabricación aditiva de metal por hilo	10
3.1.2 Fabricación aditiva de metal por polvo	11
3.2 Técnicas de fabricación	12
3.2.1 Sinterización selectiva por láser (SLS)	12
3.2.2 Fusión selectiva por láser (SLM)	13
3.2.3 Deposición de energía dirigida por haz de electrones (EBM)	14
3.2.4 Deposición de energía dirigida (DED)	15
3.3 Materiales	16
3.3.1 Acero inoxidable 316L	17
3.3.2 Acero Dulce ER70S6	18
3.3.3 Titanio 64	19
3.3.4 Níquel 718	21
3.3.5 Fundición Acero inoxidable 308L	22
4. Situación político social	23
4.1 Principales problemáticas	23
4.1.1 Medioambientales	23
4.1.2 Político sociales	25
4.2 Acciones emprendidas	26
4.2.1 Acciones medioambientales	26
4.2.2 Acciones político sociales	27
5. Análisis del desarrollo exógeno y endógeno	29
5.1 Desarrollo exógeno	29
5.2 Desarrollo endógeno	30
6. Análisis del sector	33
6.1 Análisis DAFO	33
6.2 Análisis PESTEL. Macroentorno	40
6.3 Análisis de Porter. Microentorno	42
7. Objetivos	45
7.1 Objetivo general	45
7.2 Objetivos específicos	45
7.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible	46
7.4 Estrategias políticas	46
8. Indicadores de Medición de Resultados	47
9. Futuro del sector	50
9.1. Avances tecnológicos	50

9.2 Expansión del mercado	56
9.3 Desarrollo nacional	58
10. Conclusiones	62
11. Bibliografía	66

Índice de Imágenes

Ilustración 1. Facturación Global del Sector de la FA	6
Ilustración 2. Esquema del proceso de sinterizado selectivo por láser.....	12
Ilustración 3. Proceso de fusión selectiva por láser (SLM).....	14
Ilustración 4. Proceso de deposición de energía dirigida por haz de electrones (EBM).....	15
Ilustración 5. Proceso de fabricación aditiva DED.....	16

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades del acero inoxidable 316L.....	18
Tabla 2. Parámetros de impresión con acero inoxidable 316.....	18
Tabla 3. Propiedades del acero dulce ER70S6.....	19
Tabla 4. Parámetros de impresión con acero dulce ER70S.....	19
Tabla 5. Propiedades del titanio 64.....	20
Tabla 6. Parámetros de impresión con titanio 64.....	21
Tabla 7. Propiedades del níquel 718.....	22
Tabla 8. Parámetros de impresión con níquel 718.....	22
Tabla 9. Propiedades del acero inoxidable 17/4PH.....	52
Tabla 10. Parámetros de impresión con acero inoxidable 17/4PH.....	52
Tabla 11. Propiedades del acero de herramienta H11.....	53
Tabla 12. Parámetros de impresión con acero de herramienta H11.....	53
Tabla 13. Propiedades del invar.....	54
Tabla 14. Parámetros de impresión con el invar.....	55

1. Introducción

El presente trabajo de fin de grado pretende mostrar la situación actual de la fabricación aditiva especialmente en el sector del metal, así como los principales avances técnicos que se están empleando y su futuro desarrollo, con el objetivo de dar visibilidad a esta tecnología que está impulsando la economía en la provincia de Jaén y de contribuir de alguna forma a su progreso.

1.1 Antecedentes

El sector de la fabricación aditiva se encuentra en pleno desarrollo de nuevas soluciones que comprenden tanto el desarrollo de nuevas tecnologías como el de nuevos materiales.

Dentro de las tecnologías de fabricación aditiva, la del metal en concreto, ha tenido un gran avance tecnológico en lo que a diferentes procesados de la materia prima se refiere, pero ninguno de ellos ha conseguido penetrar en la manufactura más allá de nichos muy concretos como el sector protésico dental, pequeñas prótesis maxilofaciales o piezas industriales de muy alto valor añadido como por ejemplo, inyectores en el sector aeronáutico.

En lo que a pieza grande se refiere, se han desarrollado varias tecnologías de FA (fabricación aditiva) de metal basadas en soldadura de hilo, sin llegar a conseguir gran calidad en la fabricación, por lo que sólo se han empleado en la reparación de grandes piezas como alavés o turbinas, pero no para producir nuevos objetos; además, son máquinas muy grandes y costosas que requieren de grandes inversiones.

Con respecto a los hardwares, todos los fabricantes han optado por desarrollar el suyo para integrar en él su tecnología, e incluso alguno de éstos, han limitado la operatividad de la máquina a sus propios materiales, lo que ha supuesto una de las principales barreras de entrada de la tecnología al sector industrial, ya que ha restringido su escalabilidad y por consiguiente, ha limitado la consecución de tiempos de ciclo más bajo que superasen los ya existentes por métodos tradicionales. Cabe mencionar en este párrafo, dos problemas existentes en la actualidad en los procesos de FA metálica: calidad y velocidad.

En cuanto a calidad, se consiguen piezas de muy buena calidad en procesados de materia prima con un gran grado de tamización, por debajo de las 20 micras de tamaño de gránulo. Esto hace que se ralentice la velocidad de impresión, ya que se requieren más capas que si el tamaño de gránulo fuese mayor. Por lo tanto, estas dos propiedades se presentan inversamente proporcionales en los procesos de FA de metal. Se suele dar el caso que a mayor

pieza que se pretende conseguir, las tecnologías van ofreciendo peores calidades de fabricación, ya que debido a su nula escalabilidad, es la única alternativa posible para poder obtener tiempos de ciclos de procesamiento considerables y rentables para la industria.

Dentro de los nuevos materiales, en la actualidad se ha desarrollado un rango más amplio de materiales en polvo que en hilo metálico. Esto genera otra barrera de entrada a la industria ya que el proceso de atomización y tamización del polvo metálico, es mucho más costoso que el de extrusión de hilo metálico, pero estos materiales fueron desarrollados porque fue la única vía original que se materializó para conseguir una calidad considerable en el proceso de fabricación. Dentro de los desarrollos, las aleaciones específicas para la fabricación aditiva más comunes desarrolladas, han sido las de titanio y aluminio, ya que la fabricación aditiva metálica se incorporó en primer lugar a la industria aeroespacial y médica. En cuanto a los aceros, cabe resaltar en el campo de los inoxidables el 316L, probablemente el metal más extendido hoy en fabricación aditiva. En años recientes, se han incorporado el 17-4PH y el 15-5PH también inoxidables, aunque necesitan un tratamiento térmico al ser endurecidos por precipitación. (Wohlers TT. 2013). (Wang ZL, Li JZ, Kong XX, Xiao JJ. 2014). (Yu QF 2013).

Con la llegada de la tecnología de FA por láser e hilo metálico (LMD), se abre un potencial campo de desarrollo tecnológico que ayudará a la FA metálica a dar el salto cualitativo que necesita para conseguir su implementación en la manufactura de serie o de volumen. Esta tecnología no requiere de un hardware robusto para ser implementada, y aunque puede ser integrada perfectamente en hardwares de FA, esta tecnología también permite ser híbrida, con robots o CNC's que faciliten su escalabilidad y sus grados de trabajo, por ejemplo, para eliminar los procesos auxiliares de sustracción de soportes en la pieza.

2. Situación económica

La fabricación aditiva ha experimentado un gran desarrollo y expansión debido a su rapidez, precisión y ahorro, en comparación con los procesos tradicionales. Se han utilizado una amplia variedad de materiales, desde plásticos y resinas, hasta metales, alimentos e incluso células humanas.

El mercado global de la fabricación aditiva ha experimentado un crecimiento exponencial, con un aumento significativo en la venta de equipos industriales de FA. El sector se está enfocando en el desarrollo de tecnologías de fabricación aditiva de metales

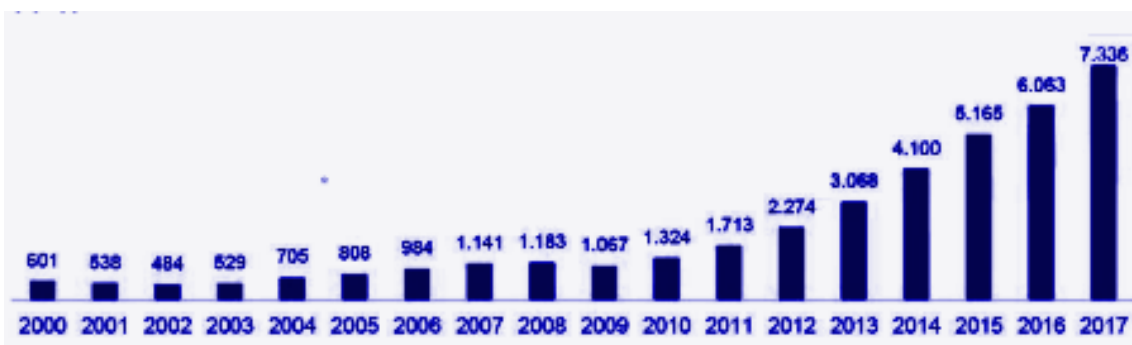
compuestos, que se espera que experimenten un crecimiento anual del 30 al 35% hasta 2029. Esta industria la componen los fabricantes de equipos, los proveedores de materiales y una red de servicios auxiliares, mientras que los clientes finales, incluyen el sector industrial y los clientes que utilizan la FA para aplicaciones privadas.

Los sectores que más han adoptado la fabricación aditiva son el aeroespacial, sanitario y bienes de consumo, aunque hay muchas expectativas de crecimiento en otros como el de la robótica, automoción, naval, ferroviario y arte y diseño. La oferta de empresas que brindan soluciones de FA a la industria se está concentrando, mientras que la demanda se agrupa en los sectores manufactureros, con grandes barreras de entrada debido a la inversión necesaria.

La fabricación aditiva también ha experimentado un crecimiento en popularidad a medida que la tecnología ha evolucionado y se ha expandido el rango de materiales utilizados, desde plásticos y resinas hasta materiales más avanzados como polvos metálicos, alimentos e incluso células humanas.

La gráfica muestra un aumento en la facturación del sector a partir de 2009, coincidiendo con la expiración de la protección de patente de la tecnología FDM.

Ilustración 1.



Facturación Global del Sector de la FA (incluye bienes y servicios asociados). Millones de dólares americanos. Fuente: Estudio de mercado de la Fabricación Aditiva en Alemania. ICEX España Exportación e Inversiones.

De acuerdo con un estudio de mercado de Fabricación Aditiva en Alemania publicado por ICEX, mientras que las ventas de equipos e impresoras personales se han estabilizado, las ventas de equipos industriales de FA han crecido exponencialmente, pasando de cerca de 6,000 unidades vendidas en 2010 a 324,000 equipos de FA comercializados en 2016.

El mercado de la fabricación aditiva es global y en constante expansión. En 2019, la tecnología de fabricación aditiva alcanzó un nivel de productividad óptimo y sus beneficios

son ampliamente reconocidos y aceptados. Cada vez más, los sectores de actividad están implementando la fabricación aditiva en sus procesos.

El sector de la fabricación aditiva está enfocado en el desarrollo de tecnologías de FA de metales compuestos. Según el último informe de SmarTech Analysis, se espera que las tecnologías de deposición e inyección de materiales compuestos experimenten tasas de crecimiento anuales entre el 30% y el 35% hasta 2029, en comparación con el 20% estimado para el mercado general de hardware para la FA metálica.

En cuanto a la estructura del sector, se pueden identificar tres actores principales: los fabricantes de equipos de Fabricación Aditiva (Hardware), los proveedores de materiales y una completa red de servicios auxiliares, que incluye desarrolladores de software, soluciones de escaneo 3D y ensayo e ingeniería inversa.

Por otra parte, en cuanto a la demanda, los actores se dividen en dos vertientes: el sector industrial y los clientes finales que utilizan equipos de FA para sus aplicaciones privadas (personalización de productos, arte, joyería, juguetes, reparaciones en el hogar, etc.).

La fabricación aditiva se está convirtiendo en una opción popular para los sectores que requieren grandes cantidades de materiales y perfilometrías complejas, ya que les permite mejorar la eficiencia de sus procesos manufactureros. A pesar de sus limitaciones en términos de costo frente a los procesos de fabricación tradicionales, muchos sectores como el aeroespacial, sanitario y bienes de consumo, están experimentando un gran potencial de crecimiento en la adopción de tecnologías de FA. Así mismo, otros sectores como la robótica, automoción, naval, ferroviario y arte y diseño, están identificando la aditiva como una solución para superar barreras de entrada y reducir la complejidad de sus procesos manufactureros. (Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., Garret, B. 2011).

La oferta de empresas capaces de brindar soluciones de aditiva a la industria se ha multiplicado en los últimos años, lo que ha generado una competencia creciente en el mercado y ha permitido una mayor diversificación de la oferta de servicios y productos. Además, la adopción de tecnologías de FA ha llevado a la creación de nuevos modelos de negocio, como el "Manufacturing as a Service", donde las empresas pueden externalizar sus procesos de producción, reduciendo costos fijos y aumentando su flexibilidad.

En resumen, la fabricación aditiva es una tecnología en constante evolución que está transformando los procesos de manufactura en diferentes sectores de la economía, generando

oportunidades de crecimiento y de innovación.

En el presente proyecto de fin de carrera se lleva a cabo un análisis tanto a nivel nacional como internacional, dado que las redes de distribución de empresas locales también se extienden a nivel global. En este sentido, se iniciará con un análisis del tamaño global del mercado, para luego abordar la situación del mercado nacional, específicamente en cuanto a las tecnologías de aditiva y los sectores en proceso de reconversión que se plantean, donde la investigación y la inversión generarán impactos significativos.

2.1 Situación global

Con respecto al tamaño actual del mercado global del uso de la tecnología aditiva en 2020, las cifras estimadas indican que se generaron ingresos por un valor de 3,1 billones de dólares. Cabe señalar que no se dispone aún de datos consolidados del año en cuestión. Estos ingresos se distribuyen entre los sectores con mayor potencial, los cuales se han mencionado previamente. En el año 2019, los ingresos fueron de 2,7 billones de dólares, lo que implica un crecimiento del 12,5% en 2020 con respecto al año anterior.

En cuanto a los sectores, comenzando por el sector sanitario, donde la fabricación aditiva tradicional tiene mayor presencia, se observa que el uso de aplicaciones de aditiva ha aumentado un 12,2% en términos de ingresos de mercado desde 2019. El sector aeroespacial se ha convertido en el segundo más importante en el mercado de la fabricación aditiva, alcanzando alrededor de 1.000 millones de dólares en 2021. Tal como se ha mencionado, el sector de la automoción es uno de los principales exponentes de la aditiva, ya que ha estado utilizando esta tecnología desde hace al menos tres décadas, y durante este tiempo se ha ido extendiendo por todos sus elementos. Se espera que para el año 2025 alcance una cifra de mercado de 4.300 millones de dólares. (Technology, Media, and telecommunications predictions, 2019).

2.2 Situación en España

Según el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Europa podría convertirse en el motor mundial de la fabricación aditiva seguida de los EE.UU.

En España, estamos ante un mercado que ha alcanzó en 2019 los 140 millones de euros y cuyas perspectivas de crecimiento son positivas, porque además, los sectores en los que se aplican estas tecnologías son estratégicos para el país, lo que implica que en cada sector que

se emplee esta tecnología mejorará su cifra de negocios, tanto en la fabricación de maquinaria de fabricación aditiva, como en la implantación propia en las industrias manufactureras con métodos innovadores. (CSIC, 2020).

El CSIC ha creado la Plataforma Temática Interdisciplinar para el Desarrollo de la Fabricación Aditiva FAB3D, para fomentar la colaboración público-privada para la implantación efectiva de estas tecnologías de fabricación. Durante la pandemia de la COVID'19, la fabricación aditiva contribuyó en nuestro país al abastecimiento local de equipos de protección individual y al desarrollo de respiradores mecánicos, lo que hizo pensar al Gobierno de España, que una industria basada en granjas de impresoras 3D podrían ser suficientemente flexibles y rentables en la España vaciada ya que presenta varias ventajas en este sentido:

- Permite abastecer todas las necesidades de piezas de la zona, al no especializarse en ninguna pieza o equipo en particular.
- Se adapta de manera inmediata y sin necesidad de inversiones ni modificaciones para producir lo que se necesite en cada momento.
- Es fácilmente integrable con un esquema de trabajo deslocalizado, puesto que la impresión puede realizarse donde se necesita la pieza y el diseño en otro lugar.

Por tanto, una fábrica con impresoras 3D podría abastecer de piezas a las industrias de la zona, a los talleres de reparación, a explotaciones en lugares remotos, a emprendedores locales, etc., convirtiéndose así, en un generador de oportunidades económicas.

3. Procesos de fabricación

La fabricación aditiva de metal comienza con la creación de un modelo en un software de diseño asistido por ordenador (CAD). El modelo se divide en capas horizontales de un grosor determinado, que se llaman "rebanadas". Este modelo se puede crear desde cero o a través del escaneo de un objeto existente para crear un modelo digital. (R. Noorani, 2006). (K. Cooper, 2001). (Scott J, Gupta N, Weber C, Newsome S, Wohlers T, Caffrey T., 2012).

Para la producción, la máquina de fabricación aditiva utiliza un haz de electrones o un láser para fundir una capa delgada de polvo o hilo metálico sobre la superficie de una placa de construcción. El polvo metálico se funde en el punto donde se encuentra el láser o el haz de electrones y se solidifica rápidamente al enfriarse. Este proceso se repite capa por capa, con la placa de construcción bajando ligeramente después de cada capa para permitir la adición de

una nueva capa de polvo metálico.

Una vez completado el proceso de impresión 3D, es necesario retirar el objeto metálico impreso de la placa de construcción y proceder a la eliminación del exceso de polvo metálico. Posteriormente, se deben realizar técnicas de post-procesamiento, como la eliminación de soportes de apoyo, pulido y recubrimiento para limpiar el objeto impreso.

Existen diversas tecnologías de fabricación aditiva de metal, como la Sinterización Selectiva por Láser (SLS), la Fusión Selectiva por Láser (SLM), la Deposición de Energía Dirigida por Haz de Electrones (EBM), y la deposición de energía dirigida (DED). Cada una tiene su propio proceso exclusivo, aunque el concepto básico es el mismo, añadir capas sucesivas de material metálico fundido para crear un objeto tridimensional.

En comparación con los métodos tradicionales de fabricación, la fabricación aditiva de metal ofrece numerosas ventajas, como la capacidad de producir formas y geometrías complejas con alta precisión. Además, la producción de piezas personalizadas y pequeñas cantidades es mucho más eficiente y económica que mediante los métodos convencionales. (Attaran, M., 2017).

Las aplicaciones de la fabricación aditiva de metal se extienden a diversas industrias, incluyendo la aeroespacial, automotriz, médica y de joyería. Se utiliza para producir prototipos, piezas de repuesto y herramientas personalizadas, así como para la producción en serie de componentes complejos y específicos. A medida que esta tecnología sigue avanzando, se espera que su uso y aplicaciones sigan expandiéndose a diversos campos.

3.1 Tipos de fabricación

Existen dos procesos principales de fabricación aditiva de metal: la fabricación por hilo y la fabricación por polvo. Ambas técnicas permiten la producción de piezas de metal complejas y personalizadas, pero utilizan diferentes procesos y materiales. A continuación, se describen en detalle cada técnica, así como sus ventajas y desventajas.

3.1.1 Fabricación aditiva de metal por hilo

La fabricación aditiva de metal por hilo se refiere al proceso de depositar capas sucesivas de material de aporte en forma de hilo que se funde y solidifica rápidamente para crear la pieza deseada.

El proceso comienza con la creación de un modelo 3D de la pieza a producir, y luego se alimenta el material de aporte a través de una boquilla que se calienta mediante un arco eléctrico, láser o llama.

Este proceso tiene ventajas como la alta precisión y calidad en la fabricación de piezas complejas y personalizadas, la utilización de materiales de alta resistencia y la eficiencia en la producción, lo que reduce el tiempo y los costos en comparación con otros métodos de fabricación.

Sin embargo, también hay desventajas como la posibilidad de deformaciones térmicas en la pieza, el costo del material utilizado y la necesidad de un alto nivel de habilidad y experiencia por parte del operador.

3.1.2 Fabricación aditiva de metal por polvo

La fabricación aditiva por polvo implica la fusión selectiva de partículas de polvo metálico utilizando un láser de alta potencia.

La técnica comienza con la creación de un modelo 3D de la pieza a fabricar y la deposición de una capa de polvo metálico sobre una plataforma de trabajo. A medida que se enfoca el láser sobre la capa de polvo, se funden selectivamente las partículas metálicas y se solidifican en la forma deseada. Este proceso se repite con cada capa adicional de polvo hasta que se completa la pieza en su totalidad.

Las ventajas de la fabricación aditiva de metal por polvo incluyen la capacidad de crear piezas complejas y detalladas que no son posibles con otros métodos de fabricación, así como la posibilidad de utilizar materiales de alta calidad y resistencia para producir piezas duraderas y resistentes. Además, el proceso es rápido y eficiente, lo que reduce los costos y el tiempo de producción.

Sin embargo, hay desventajas asociadas con esta técnica de fabricación, por ejemplo, el proceso de impresión puede ser lento y requerir habilidad y experiencia por parte del operador. También puede haber deformaciones térmicas en la pieza debido a la alta temperatura del proceso de fusión, lo que puede afectar su calidad y precisión. Además, el uso de materiales costosos puede aumentar el costo total de producción.

Tanto la impresión por hilo como por polvo, tienen sus propias ventajas y desventajas. La elección entre ambas técnicas dependerá de las necesidades específicas de producción y las

características requeridas de la pieza final. Ambos métodos ofrecen la capacidad de producir piezas complejas y resistentes, pero también tienen limitaciones que deben ser consideradas.

Es importante que los fabricantes evalúen cuidadosamente sus opciones de fabricación para elegir la técnica que mejor se adapte a sus necesidades y presupuesto.

3.2 Técnicas de fabricación

Las técnicas de fabricación más comunes son cuatro: sinterización selectiva por láser (SLS), fusión selectiva por láser (SLM), deposición de energía dirigida por haz de electrones (EBM) y deposición de energía dirigida (DED). A continuación se describe cada una de éstas.

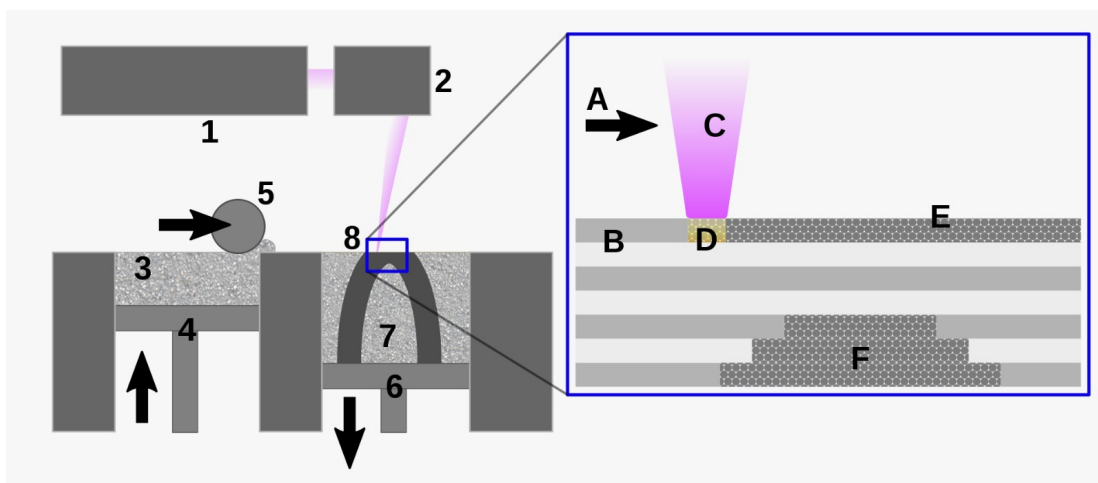
3.2.1 Sinterización selectiva por láser (SLS)

La técnica de Sinterización Selectiva por Láser (SLS) utiliza un láser de dióxido de carbono para fundir polvo metálico a altas temperaturas. El láser se desplaza a través de la superficie del polvo metálico, creando una capa fundida que se solidifica rápidamente.

Posteriormente, se añade una nueva capa de polvo metálico y se repite el proceso de fusión láser para crear la siguiente capa. Esta técnica de alta precisión se emplea en la producción de piezas de alta calidad, prototipos y herramientas, y se utiliza comúnmente para producir piezas de acero inoxidable, titanio, níquel y aleaciones de cobalto. Además, la técnica SLS no requiere soporte adicional para la construcción, ya que el polvo sin fundir proporciona el soporte necesario. (Barakh Ali, SF; Mohamed, EM; Ozkan, T.; Kuttolamadam, MA; Kan, MA; Asadi, A.; Rahman, Z., 2019). (Merzelis P, Froyen L, Rombouts M., 2005).

Ilustración

2.



Esquema del proceso de sinterizado selectivo por láser: 1.- Láser. 2.- Sistema de escaneo. 3.- Sistema de dispensación de polvo. 4.- Pistón de dispensación de polvo. 5.- Rodillo. 6.- Pistón de fabricación

7.- Plataforma para polvo de fabricación 8.- Objeto siendo fabricado (ver inserto) Leyenda del inserto: A.- Dirección de escaneo del láser. B.- Partículas de polvo sinterizadas (estado marrón). C.- Haz láser. D.- Sinterizado por láser. E.- Plataforma de polvo pre-posicionado (estado verde). F.- Material no sinterizado en capas anteriores.

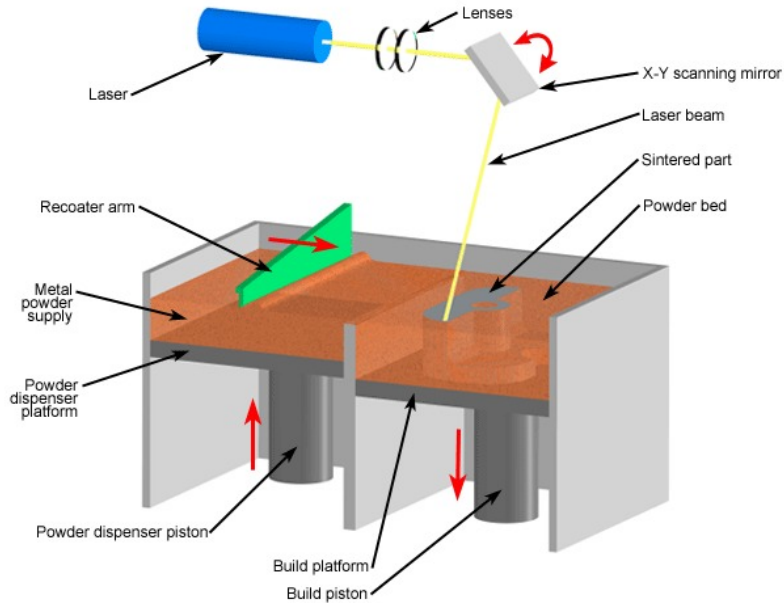
3.2.2 Fusión selectiva por láser (SLM)

La técnica de fusión selectiva por láser (SLM) es similar a la SLS, pero en lugar de fundir el polvo metálico en una sola capa, se derrite en una serie de puntos específicos para crear una pieza tridimensional.

En la técnica SLM, se utiliza un láser de alta potencia para fundir y fusionar selectivamente el polvo metálico en las áreas necesarias para construir la pieza. Después de cada capa, se agrega una nueva capa de polvo metálico y se repite el proceso de fusión láser para crear la siguiente capa. A diferencia de la técnica SLS, la técnica SLM requiere soporte adicional para la construcción de piezas con estructuras complicadas. (L.S. Bertol, W.K. Júnior, F.P. da Silva, C.A. Kopp, 2010). (L. Ciocca, M. Fantini, F. De Crescenzo, G. Corinaldesi, R. Scott, 2011). (Merçelis P, Froyen L, Rombouts M., 2005).

La técnica SLM es comúnmente utilizada en la producción de piezas de alta calidad y resistencia, como implantes médicos y componentes de motores aeronáuticos. También se emplea en la fabricación de piezas de aleaciones de titanio, acero inoxidable, aluminio y otros metales.

Ilustración 3.



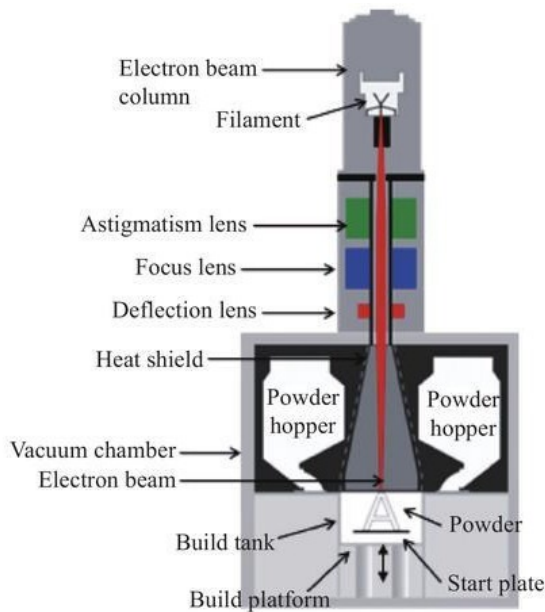
Proceso de Fusión selectiva por láser (SLM). Fuente compraimpresoras-3d.com

3.2.3 Deposición de energía dirigida por haz de electrones (EBM)

En esta técnica de deposición, se utiliza un haz de electrones para fundir y fusionar el polvo metálico en capas sucesivas. Durante esta técnica, el haz de electrones se enfoca en la superficie del polvo metálico y crea una capa fundida que se solidifica rápidamente. Posteriormente, se agrega una nueva capa de polvo metálico y se repite el proceso de fusión para crear la siguiente capa.

La técnica EBM se emplea en la producción de piezas con una alta resistencia y durabilidad, como las piezas aeronáuticas y los componentes de motores. Además, se utiliza para producir piezas de aleaciones de titanio y otros metales que resultan difíciles de fabricar mediante técnicas tradicionales de manufactura.

Ilustración 4



Proceso de deposición de energía dirigida por haz de electrones (EBM). Fuente am-material.com.

3.2.4 Deposición de energía dirigida (DED)

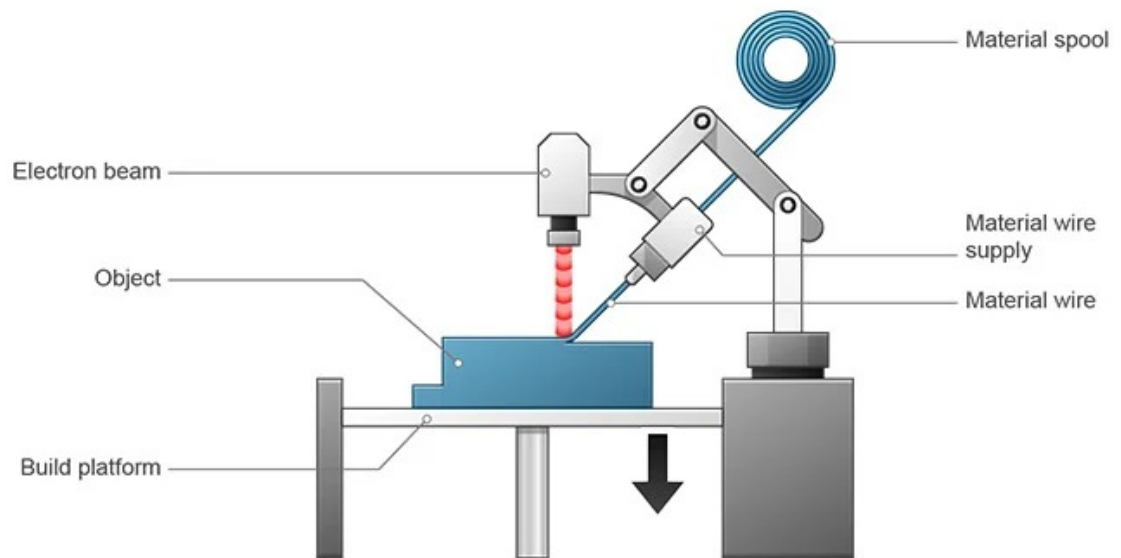
Es un método de fabricación aditiva que involucra el uso de un haz de electrones o un láser para fundir y depositar material en una superficie. Durante el proceso DED, se funde un filamento o polvo metálico en una piscina líquida que se deposita en la pieza a través de un cabezal de deposición, el cual se controla mediante un sistema de control numérico por computadora (CNC).

Una vez que se deposita el material fundido, se solidifica rápidamente para formar una capa sólida que se agrega a la pieza en tres dimensiones. Este proceso es adecuado para la creación de piezas grandes y complejas, así como para la reparación y reacondicionamiento de componentes existentes. Además, permite la utilización de una amplia gama de materiales, incluyendo metales, aleaciones, cerámicas y materiales compuestos. (Kohtala, C.; Hyysalo, S., 2015). (Ford, S., 2016).

Sin embargo, el proceso DED requiere de un alto nivel de experiencia y conocimiento técnico para garantizar la calidad de la pieza. La velocidad de deposición, la densidad del material, la geometría de la pieza y la calidad del material de partida son factores que pueden afectar la calidad de la pieza resultante. A pesar de los desafíos técnicos, el proceso DED ofrece numerosas ventajas en términos de eficiencia, flexibilidad y diseño.

En definitiva, la SLS, SLM, EBM, DED son tecnologías de fabricación aditiva de metales que facilitan la producción de piezas de alta calidad y resistencia con formas y geometrías complejas. Cada técnica posee sus propias ventajas y limitaciones, y la selección de la técnica adecuada depende del tipo de pieza a fabricar y de las exigencias particulares de cada proyecto.

Ilustración 5



El proceso de fabricación aditiva DED, en este caso utilizando un haz de electrones. Fuente 3dnatives.com

3.3 Materiales

La selección de materiales en la fabricación aditiva es clave, ya que el resultado del producto a realizar y sus propiedades dependen directamente del material que se utilice, por tanto, esta elección debe hacerse teniendo en cuenta el uso del objeto a fabricar, las propiedades físicas, y el acabado final que se precise. Además, en función del tipo de material, se podrá utilizar una u otra tecnología para su fabricación.

El polvo de metal, es el material más común utilizado en la fabricación aditiva de metal. Se puede emplear una amplia variedad de metales en polvo, como acero inoxidable, aluminio, titanio, cobre y níquel, entre otros.

El alambre de metal, se usa principalmente en la tecnología de sinterización por plasma y en la deposición por chorro de polvo. Los metales utilizados suelen ser titanio y acero inoxidable.

Las aleaciones en polvo, también se emplean en la fabricación aditiva de metal. Algunas aleaciones comunes incluyen acero inoxidable, níquel-cromo y titanio-aluminio, entre otras.

El hilo de soldadura, se utiliza principalmente en la tecnología de deposición por arco eléctrico. Los metales más habituales son el acero inoxidable y el aluminio.

El metal líquido, se usa ante todo en la tecnología de fundición directa. Los metales escogidos son principalmente aleaciones ligeras, como aluminio y magnesio.

En conclusión, es fundamental conocer los tipos de materiales que emplean en la impresión 3D, a continuación se describen las características y propiedades de los más habituales en la actualidad.

3.3.1 Acero inoxidable 316L

El acero inoxidable 316L es una aleación austenítica altamente duradera, biocompatible, y con propiedades adecuadas para temperaturas elevadas. Se caracteriza por su bajo contenido de carbono y ofrece una resistencia mecánica superior en comparación con otros aceros inoxidables.

Entre las ventajas del acero inoxidable 316L, se encuentra su excelente resistencia a la corrosión, lo que lo hace ideal para su uso en ambientes agresivos y en la industria química y petroquímica. También es capaz de soportar altas temperaturas, por lo que se utiliza en la industria alimentaria y médica, entre otras. Además, tiene una mayor resistencia a la tensión y al desgaste que otros aceros inoxidables.

Entre las desventajas del acero inoxidable 316L se encuentra su mayor costo en relación a otros tipos de aceros inoxidables, esto es por su alto contenido de molibdeno. Asimismo, puede ser más difícil de soldar debido a su alta resistencia a la corrosión, y por último, es sensible a la contaminación por partículas de hierro durante el proceso de fabricación, lo que puede afectar su resistencia a la corrosión.

Los resultados muestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de Meltio tienen el mismo nivel que los mismos métodos convencionales, con bajas desviaciones

y propiedades casi isotrópicas entre las orientaciones de impresión orientaciones de impresión horizontal (XY) y vertical (XZ).

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
Propiedades en Forjado	-	550	260	35	146
Propiedades en Fundición	-	515	208	40	
Equipos de MELTIO	XY	648+-4	420+-4	54+-3	198
	XZ	546+-23	337+-33	15+-3	

Tabla 1. *Propiedades del acero inoxidable 316L*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
450 mm/min	1 mm	1.2 mm	1100W

Tabla 2. *Parámetros de impresión utilizado con el acero inoxidable 316L*

3.3.2 Acero Dulce ER70S6

El acero dulce es un material comúnmente utilizado en diversas aplicaciones, debido a su precio relativamente bajo y sus buenas propiedades. El acero dulce ER70S6, en particular, es una aleación de acero al carbono que se emplea en soldadura y está compuesta principalmente por hierro, carbono, manganeso, silicio y fósforo.

Las aplicaciones típicas del acero dulce ER70S6, incluyen la fabricación de estructuras de acero, piezas de maquinaria, tuberías y otros componentes de construcción.

Entre las ventajas que ofrece el acero dulce ER70S6, destacan además de su precio y su facilidad de soldadura, otras cualidades: es magnético, dúctil, muy maleable, mecanizable y maquinable.

En cuanto a las desventajas que presenta el acero dulce ER70S6, encontramos su

limitada resistencia a la corrosión, lo que puede provocar oxidación y deterioro en ambientes húmedos o corrosivos. Asimismo, no es un material adecuado para aplicaciones de alta temperatura, ya que en esas condiciones puede perder sus propiedades mecánicas y de resistencia, y tampoco para las de alta precisión, debido a la presencia de impurezas en la aleación que pueden afectar tanto a la calidad de la soldadura, como a la precisión de las piezas.

Los resultados demuestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de MELTIO se comportan al mismo nivel que los métodos de fabricación convencionales, con bajas desviaciones y propiedades casi isotrópicas entre la orientación de impresión horizontal (XY).

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
Propiedades en Forjado	-	400+-50	250	23	127
Propiedades en Fundición	-	414+-85	205	40	
Equipos de MELTIO	XY	598+-5	484+-8	71+-1	175
	XZ	525+-12	402+-37	15+-9	

Tabla 3. *Propiedades del acero dulce ER70S6*

Parámetros de impresión utilizados: vida útil

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
300 mm/min	1 mm	1.2 mm	1100W

Tabla 4. *Parámetros de impresión utilizado con el acero dulce ER70S6*

3.3.3 Titanio 64

La aleación de titanio $\alpha + \beta$ Ti-6Al-4V, también conocida como Ti64, es ampliamente utilizada en la industria aeroespacial, de ingeniería y médica, debido a su alta resistencia, baja

densidad, alta tenacidad a la fractura, excelente resistencia a la corrosión y biocompatibilidad superior. Se reconoce que Ti64 es la aleación de titanio más popular en la actualidad.

El Titanio 64 es un material ideal para aplicaciones que requieren resistencia mecánica, como en la fabricación de piezas de aviones y cohetes por su alta resistencia a la tracción y al impacto. Además, su ligereza lo hace perfecto para aplicaciones donde se requiere una alta relación resistencia-peso, como en la construcción de aviones y naves espaciales. La resistencia a la corrosión y la falta de oxidación, hacen que el Titanio 64 sea adecuado para su uso en ambientes húmedos y corrosivos como en la industria marina. Su biocompatibilidad y falta de toxicidad lo hacen ideal para su uso en aplicaciones médicas, como en la fabricación de prótesis, implantes y otros dispositivos médicos.

Sin embargo, el Titanio 64 también presenta algunas desventajas que deben considerarse antes de su uso. El alto costo de producción y la alta demanda en la industria, lo hacen menos accesible para algunas aplicaciones. Además, su alta resistencia dificulta su mecanizado, lo que puede aumentar los costos de producción y dificultar su uso. Por otro lado, su baja conductividad térmica lo hace menos adecuado para aplicaciones donde se requiere una alta transferencia de calor, como en la industria de la energía.

Los resultados muestran que las probetas impresas en 3D con LMD de alambre de Meltio funcionan al mismo nivel que los métodos de fabricación convencionales, con una desviación baja entre las probetas ensayadas.

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)	Densidad Relativa (%)
Propiedades en Forjado	-	930	860	>10	342	100
Propiedades en Fundición	-	860	758	>8		
Equipos de MELTIO	XY	881+-27	786+-22	11+-0	311	99.993
	XZ	855+-12	760+-16	12+-1		99.995

Tabla 5. *Propiedades del titanio 64*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
450 mm/min	1 mm	1.2 mm	1100W

Tabla 6. *Parámetros de impresión utilizado con el titanio 64*

3.3.4 Níquel 718

El níquel 718, es una aleación de níquel-cromo con excelentes propiedades de resistencia a la corrosión, y es utilizado en una variedad de aplicaciones en la industria aeroespacial y energética.

Esta aleación es capaz de soportar altas temperaturas y presiones, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren una alta resistencia mecánica y a la fatiga, como en la fabricación de piezas de motores y turbinas.

Sin embargo, su baja conductividad térmica, alta tenacidad y fuerte tendencia al endurecimiento por deformación, afectan negativamente a su mecanizabilidad, lo que puede dificultar su procesamiento y aumentar los costos de producción. Además, el níquel 718 es un material costoso debido a su complejidad de producción y alta demanda en la industria, lo que puede limitar su uso en algunas aplicaciones donde el costo es un factor importante.

En resumen, aunque el níquel 718 tiene ventajas significativas, también presenta desventajas que deben ser consideradas antes de su uso.

Los resultados muestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de MELTIO están al mismo nivel que los métodos convencionales, con bajas desviaciones y propiedades casi isotrópicas entre las orientaciones de impresión horizontal (XY) y vertical (XZ).

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
Propiedades en Forjado	-	1241	1034	10	342
Propiedades	-	802	758	5	

s en Fundición					
Equipos de MELTIO	XY	833+-50	7537+-32	25+-3	245
	XZ				
Equipos de MELTIO con Post "Heat Stress Relive"	XY	1016+-28	660+-10	15+-2	285
	XZ	925+-86	631+-7	+1	
Equipos de MELTIO con Post "Heat Aging"	XY	1256+-11	1025+-7	11+-1	285
	XZ	1208+-49	980+-2	10+-5	332

Tabla 7. *Propiedades del níquel 718*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
450 mm/min	1 mm	1.2 mm	1100W

Tabla 8. *Parámetros de impresión utilizado con el níquel 718*

3.3.5 Fundición Acero inoxidable 308L

El acero inoxidable integral que presenta una alta resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas, es el resultado de la fundición de la aleación de acero inoxidable 308L. Esta aleación consiste principalmente en hierro, níquel y cromo, con la inclusión de pequeñas cantidades de otros elementos, como manganeso y silicio.

Este material es ampliamente utilizado en la fundición de piezas de acero inoxidable en la industria de la construcción, así como en la fabricación de maquinaria y equipos.

Las ventajas del acero inoxidable 308L incluyen su alta resistencia a la corrosión, lo que lo hace ideal para su uso en ambientes corrosivos como la industria química y de procesamiento de alimentos. Además, presenta una buena soldabilidad, lo que facilita su unión a otras piezas de acero inoxidable, mediante técnicas de soldadura como la soldadura por arco de tungsteno con gas (TIG). También es capaz de soportar altas temperaturas sin

perder su resistencia mecánica, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que se requiere una alta resistencia térmica.

Una de las desventajas del acero inoxidable 308L es su fragilidad a bajas temperaturas, lo que puede limitar su uso en aplicaciones criogénicas. Asimismo, su contenido de carbono relativamente alto, puede reducir su resistencia a la corrosión y a la oxidación en ciertos ambientes, especialmente en presencia de ácidos fuertes y cloruros. Por último, es un material relativamente costoso en comparación con otros tipos de aceros. (Scott J, Gupta N, Weber C, Newsome S, Wohlers T, Caffrey T., 2012).

4. Situación político social

4.1 Principales problemáticas

4.1.1 Medioambientales

Como se ha comentado, la fabricación aditiva o impresión 3D es una tecnología relativamente nueva y que se encuentra en expansión, cuyo objetivo es eliminar los principales problemas que provocan los procesos tradicionales de fabricación. Con las nuevas tecnologías que actualmente se están desarrollando e introduciendo en multitud de aplicaciones industriales, tal y como se describirán en siguientes apartados de la memoria, se pretenden disminuir los siguientes inconvenientes:

Residuos y emisiones tóxicas:

Este es uno de los principales y más dañinos motivos por lo que la fabricación aditiva se ha introducido, puesto que la mayoría de los procesos de fabricación tradicionales generan grandes cantidades de residuos, ya sea en forma de piezas defectuosas o en recortes y trozos de material. Asimismo, muchos de estos procesos utilizan sustancias químicas tóxicas que pueden contaminar el aire y el agua. Con la impresión 3D, la generación de residuos se reduce en gran medida, ya que solo utiliza el material justo y necesario para crear una pieza u objeto y además, las impresoras no emiten al aire sustancias químicas tóxicas. (Huang, R.; Riddle, M.; Graziano, D.; Warren, J.; Das, S.; Nimbalkar, S.; Cresko, J.; Masanet, E., 2016).

Uso en exceso de energía:

Al igual que en la anterior problemática, gran parte de los procesos tradicionales utilizan grandes cantidades de energía para producir piezas, ya que a diferencia de la

impresión, no solo basta con usar única y exclusivamente la energía necesaria, por tanto, gracias a la aditiva, se incrementa la eficiencia del proceso industrial.

La fabricación aditiva es más eficiente energéticamente que muchos procesos de fabricación tradicionales, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción. Además, algunos fabricantes han desarrollado técnicas de impresión 3D que utilizan fuentes de energía renovable, como la energía solar, para reducir aún más la huella de carbono de la producción.

Transporte y logística:

Los procedimientos convencionales de manufactura implican frecuentemente el traslado de insumos y bienes terminados a grandes distancias, incrementando así la huella de carbono del proceso productivo. La fabricación aditiva posibilita la producción en lugares cercanos y bajo demanda, disminuyendo la exigencia de transporte y logística.

Uso de materiales:

La utilización de materiales en procesos de fabricación ha sido un tema crítico en la industria, especialmente cuando se trata de la sostenibilidad del medio ambiente. Muchos procesos de fabricación tradicionales han empleado materiales que son difíciles o costosos de reciclar, lo que ha llevado a la generación de grandes cantidades de desechos que, en muchos casos, terminan en vertederos. La fabricación aditiva, por un lado, permite la utilización de materiales tanto reciclables como biodegradables, y, por otro lado, permite la creación de objetos con cavidades internas, lo que incrementa significativamente la reducción de material y por ende, la masa de los objetos, llegando a verse reducido en más de un 65% de masa en grandes estructuras. Además, con las últimas novedades que se están realizando y que se explicarán con mayor detalle a lo largo del TFG, será posible crear piezas con diferentes materiales al mismo tiempo, lo que aportará al proceso numerosas ventajas y un gran abanico de posibilidades frente a los procesos tradicionales, puesto que no solo se aprovechan las características de ambos materiales utilizados, sino que permite la reducción del coste de la pieza al poder realizar una capa interna con un material de menor coste y la capa externa del material con mayores propiedades.

La reducción de la dependencia de materiales no renovables contribuye significativamente a disminuir la contaminación del aire y del agua relacionada con la extracción y el procesamiento de materias primas.

Diseño sostenible:

La fabricación aditiva posibilita la producción de piezas con estructuras internas complejas que emplean menos material en comparación con los diseños convencionales. Esta técnica de manufactura contribuye a disminuir el consumo de materiales y, por consiguiente, la necesidad de extraer más materias primas. Asimismo, algunos diseñadores están empleando la fabricación aditiva para producir artículos y piezas que son fácilmente desmontables y reparables, lo que reduce la cantidad de residuos generados por la producción. (Diegel O, Singamneni S, Reay S, Withell A., 2010). (Hao L, Raymond D, Strano G, Dadbakhsh S., 2010).

En resumen, la fabricación aditiva tiene el potencial de abordar muchos de los principales problemas ambientales asociados con los procesos de fabricación tradicionales. La tecnología puede reducir los residuos y las emisiones tóxicas, el uso excesivo de energía y la necesidad de transporte y logística, y además, también permite el uso de materiales reciclables y biodegradables, por lo que ayuda a reducir la huella de carbono y la contaminación asociada con la producción y a fomentar un modelo de producción más sostenible. (Campbell, T.; Williams, C.; Ivanova, O.; Garret, B. 2011). (Ellis DE, Hadley PW., 2019). (Marcus Alfred, 2009).

4.1.2 Político sociales

Junto a los problemas ambientales mencionados anteriormente, la fabricación aditiva también tiene el potencial de abordar varios problemas político-sociales; a continuación se describen algunos de estos problemas y cómo la fabricación aditiva puede ayudar a reducirlos:

Centralización de poder:

En general, la mayoría de los procesos utilizados actualmente se encuentran centralizados en grandes empresas, las cuales tienen un gran poder de mercado, por lo que el inicio de nuevas empresas en sectores que ya están muy congestionados resulta muy complejo por las grandes barreras de entrada existentes, al requerir de una gran cantidad de capital para iniciar y mantener la producción. La fabricación aditiva, por otro lado, permite la producción local y a pequeña escala, lo que reduce la barrera de entrada para los pequeños negocios y emprendedores. Esto puede ayudar a reducir la desigualdad económica y promover la creación de empleos locales.

Dependencia de la importación:

La importación de piezas en el sector industrial es muy usual en la mayoría de los países debido a la escasez de producción local, por lo que se incrementa el costo y reduce la independencia económica de la región. La fabricación aditiva permite la producción local y a pedido de cualquier tipo de pieza que se requiera al instante, lo que puede ayudar a reducir la dependencia de la importación y fomentar la producción nacional. (Birchnell, T.; Urry, J., 2012)

Propiedad intelectual:

Otro de los problemas en los procesos de fabricación tradicionales es la fácil copia y falsificación de productos, lo que perjudica gravemente a los propietarios de dichos derechos. Con la impresión 3D, se puede llegar a crear piezas de mayor complejidad y con una alta personalización que resulten difíciles o imposibles de copiar con los métodos convencionales. (Hornick, J.; Roland, D., 2013). (Kurfess, T.; Cass, WJ., 2014).

En resumen, la fabricación aditiva tiene el potencial de abordar muchos de los principales problemas político-sociales asociados con los procesos de fabricación tradicionales. La tecnología puede reducir la desigualdad económica, la dependencia de la importación, mejorar el control y regulación de la producción y reducir la necesidad de copiar productos existentes.

4.2 Acciones emprendidas**4.2.1 Acciones medioambientales**

En las últimas décadas, la actividad industrial ha experimentado un aumento constante en todo el mundo, lo que ha llevado a una gran demanda de recursos energéticos y materiales y una gran generación de residuos y emisiones al medio ambiente. Debido a la preocupación por los efectos negativos que estas actividades causan en la salud humana, la contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos, la protección y conservación del medio ambiente se ha identificado como una de las acciones clave en las estrategias de desarrollo de la Unión Europea. Desde 2015, la Unión Europea ha propuesto la fabricación aditiva avanzada como un método de producción clave para un crecimiento sostenible.

La fabricación aditiva tradicional ha tenido grandes barreras en cuanto a la sostenibilidad de sus procesos, ya que el consumo de energía en gran parte de la cadena de

valor es alto. Esto ha sido un punto fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías que, combinadas con las ya existentes, puedan reducir los impactos ambientales de la industria del futuro.

Dentro de las estrategias empresariales, es fundamental considerar la óptica ambiental en todas sus fases, desde las etapas de I+D+i o de valoración de futuras inversiones, hasta las etapas de producción y operación, una vez que se materialicen estas inversiones, siempre teniendo en cuenta la alternativa más sostenible a largo plazo.

La fabricación aditiva puede reducir enormemente la complejidad actual en los procesos de fabricación, con ventajas adicionales sobre las técnicas de producción convencionales, y también en las actividades logísticas existentes en cada uno de los integrantes de la cadena de suministro. Comparada con las técnicas de fabricación tradicionales, esta tecnología modifica el concepto de fabricación, pasando de cortar o moldear las formas, reduciendo o eliminando materiales, al de combinar materias primas de forma más precisa y versátil. Además, al utilizar únicamente el material necesario para la fabricación de la pieza, no se generan deshechos, los componentes tienen un coste menor, y se produce de manera más sostenible. (Attaran, M., 2017). (Ellis DE, Hadley PW., 2009).

4.2.2 Acciones político sociales

La implementación de la tecnología de fabricación aditiva ha provocado una serie de medidas políticas y sociales para hacer frente a los desafíos mencionados anteriormente. A continuación, se describen algunas de estas medidas y su impacto en la solución de los problemas actuales.

La fabricación aditiva ha impulsado la democratización de la producción, lo que permite a los individuos producir objetos en sus hogares o lugares de trabajo. La autonomía en la producción otorga a los usuarios mayor control sobre lo que producen, cómo lo producen y cómo se utiliza. Como resultado, se puede fomentar una economía más descentralizada, en la que las personas produzcan bienes que satisfagan sus necesidades y valores. Esta tecnología puede permitir que las personas produzcan bienes que antes solo estaban disponibles a través de grandes empresas, lo que puede tener un impacto significativo en la reducción de la desigualdad económica. (Huang, S.; Liu, P.; Mokasdar, A.; Hou, L. 2013).

Otra ventaja de la fabricación aditiva es que reduce la dependencia de las cadenas de suministro complejas y costosas, disminuyendo la vulnerabilidad de las empresas y los países

a las interrupciones del suministro y a la inestabilidad geopolítica. Además, esta tecnología fomenta la producción local y regional, lo que puede generar beneficios para las economías locales. Esto puede traducirse en una mayor independencia económica, un aumento en la creación de empleo y una reducción en el costo de los productos. (Bogers, M.; Hadar, R.; Bilberg, 2016).

La fabricación aditiva también puede generar oportunidades laborales en áreas como el diseño, la ingeniería, la programación y el mantenimiento de equipos. Esto puede contribuir a reducir la tasa de desempleo y a mejorar la calidad de vida de las personas en las comunidades donde se desarrolla la fabricación 3D. Además, la tecnología puede mejorar la eficiencia en la producción y reducir los costos laborales, lo que puede generar un impacto positivo en la economía en general. (Huang, S.; Liu, P.; Mokasdar, A.; Hou, L., 2013).

La innovación y el desarrollo tecnológico son otros beneficios de la fabricación aditiva, ya que ha impulsado el desarrollo de tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial y la automatización, entre otras, lo que conlleva a la creación de nuevas empresas y a la mejora de la competitividad en los mercados internacionales. La fabricación aditiva también tiene un impacto significativo en la innovación, ya que permite la creación de prototipos más rápido y a menor costo. (Bourell, DL; Rosen, DW; Leu, MC, 2014).

Otra ventaja importante es que puede mejorar el acceso a productos de calidad a personas que viven en áreas remotas, o de difícil acceso a ciertos productos. Esta tecnología permite la producción local y a pedido, lo que significa que los productos pueden llegar al consumidor más rápidamente y a un precio más asequible, provocando con ello un efecto beneficioso en la salud y bienestar de las personas. (Birchneil, T.; Urry, J., 2012).

En resumen, la fabricación aditiva ha generado una serie de medidas políticas y sociales para abordar los problemas actuales. La tecnología ha fomentado la democratización de la producción, ha reducido la dependencia de las cadenas de suministro, ha creado empleos, ha impulsado la innovación y el desarrollo tecnológico y ha mejorado el acceso a productos de calidad. Estas medidas pueden contribuir a una economía más justa, sostenible y autónoma, al tiempo que mejoran la calidad de vida de las personas en todo el mundo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la implementación de la fabricación aditiva también presenta algunos retos, como la necesidad de garantizar la seguridad y calidad de los productos, la gestión adecuada de los residuos y la formación de las personas en el uso

de la tecnología. Abordar estos desafíos puede maximizar el potencial de esta tecnología para mejorar nuestra sociedad y nuestro mundo.

5. Análisis del desarrollo exógeno y endógeno

5.1 Desarrollo exógeno

En España, el desarrollo del sector de la fabricación aditiva ha sido impulsado tanto por factores exógenos como endógenos. Los factores exógenos son aquellos que provienen del entorno exterior al sector, como la evolución de la tecnología, la demanda de los consumidores o la competencia internacional. En el caso de la fabricación aditiva en España, algunos de los factores exógenos que han influido en su desarrollo son:

Competencia a nivel internacional:

La fabricación aditiva es un área en el que la competencia internacional es muy fuerte, países como China, o Estados Unidos, tienen una gran presencia en el sector y compiten con empresas españolas. Esta presión competitiva, ha llevado a las empresas españolas a mejorar su capacidad innovadora y a buscar nuevos mercados.

Tecnología en continua evolución:

La fabricación aditiva es una tecnología que se encuentra actualmente en constante desarrollo y mejora que ha experimentado avances significativos en la creación de nuevos materiales y en la precisión y velocidad de las impresoras 3D. Estos avances han permitido una mayor variedad de aplicaciones industriales de la tecnología, así como una mejora en la calidad de los productos fabricados, a pesar de todo el recorrido que le queda para ser una tecnología ampliamente aceptada en los diferentes sectores industriales.

Incremento de la demanda:

La capacidad de la fabricación aditiva para crear productos personalizados y adaptados a las necesidades de cada cliente ha generado una mayor demanda entre los consumidores en busca de productos únicos y personalizados. En España, el desarrollo exógeno de la fabricación aditiva se está viendo impulsada por el aumento de la demanda de esta tecnología en todo el mundo. Las empresas españolas que se dedican a la fabricación aditiva están comenzando a aprovechar las oportunidades que ofrece el mercado global, expandiendo sus operaciones y colaborando con empresas y centros de investigación en todo el mundo.

(Bogers, M.; Hadar, R.; Bilberg, A. 2016).

Por otro lado, en España las empresas dedicadas a la realización de proyectos para desarrollar e implementar esta tecnología revolucionaria están siendo respaldadas por ayudas que fomentan la colaboración y la cooperación internacional. Existen diferentes iniciativas de colaboración entre empresas, centros de investigación y gobiernos para el desarrollo de nuevas técnicas y materiales para la impresión 3D. Por ejemplo, el programa europeo Horizon o Eurostar que están sirviendo para financiar varios proyectos de investigación en el campo de la impresión 3D, los cuales han involucrado a empresas y centros de investigación españoles.

5.2 Desarrollo endógeno

El concepto de desarrollo endógeno se refiere a los factores internos que influyen en el crecimiento de un sector o industria. La fabricación aditiva es una técnica de producción que permite la creación de objetos tridimensionales a partir de un modelo digital, la cual está revolucionando la forma en que se producen y diseñan productos en diferentes industrias, incluyendo la automotriz, la aeronáutica, la médica, la joyería y la arquitectura, entre otras, tanto en el ámbito nacional como internacional. En el contexto de la fabricación aditiva en España, existen varios factores endógenos que han impulsado su desarrollo. A continuación se detallan algunos de los más relevantes.

Empresas innovadoras:

En España existen varias empresas que han apostado fuertemente por la fabricación aditiva y han desarrollado innovadoras tecnologías en este campo. Estas empresas se han especializado en la creación de láseres y células de FA adaptadas a las necesidades de la industria 4.0, y en la producción de piezas y componentes mediante FA. Además, algunas de ellas han creado alianzas estratégicas con otras empresas o centros de investigación, para compartir conocimientos y desarrollar nuevas soluciones.

Centros de investigación:

España cuenta con una gran cantidad de centros de investigación y universidades que están trabajando en el desarrollo de la fabricación aditiva. Estas entidades están especializadas en diferentes campos, como la creación de nuevos materiales, la mejora de la precisión de las impresoras 3D, la automatización de los procesos de producción, etc. La colaboración entre estos centros y las empresas del sector ha sido clave para el desarrollo de nuevas soluciones y

productos.

Formación y capacitación:

La formación y capacitación en fabricación aditiva es esencial para el desarrollo del sector. En España, existen diversas iniciativas que buscan fomentar la formación y capacitación en esta rama, tanto a nivel universitario como en la formación profesional. Además, algunas empresas del sector, han creado programas de formación y capacitación internos para sus empleados, el ejemplo más notorio es la empresa MELTIO, situada en Linares, Jaén, la cual está intentando crear una cátedra en la UJA para incrementar las investigaciones en este sector para llegar a implantar este nuevo tipo de fabricación avanzada, en soluciones y aplicaciones reales y dar así un gran salto cualitativo en multitud de sectores, e industrias atrasadas con procesos tradicionales y nocivos para el medio ambiente. (Gato, A.; Bassoli, E.; Denti, L.; Juliano, L.; Minetola, P., 2015).

Financiación:

La financiación es un factor clave para el desarrollo de cualquier sector. En España, existen diferentes iniciativas como las que ofrecen las siguientes entidades:

- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Este organismo público ofrece diversas ayudas financieras para empresas que están desarrollando proyectos de innovación tecnológica, incluida la fabricación aditiva. Estas ayudas pueden ser en forma de préstamos, ayudas a la innovación o financiación propia.
- Banco Europeo de Inversiones (BEI). El BEI ofrece préstamos a empresas y organizaciones que están desarrollando proyectos de investigación y desarrollo en áreas de alta tecnología, como la fabricación aditiva. Estos préstamos se ofrecen en condiciones favorables y pueden ser una opción atractiva para las empresas.
- Empresa Nacional de Innovación (ENISA). Esta entidad pública ofrece financiación a startups y empresas innovadoras. La fabricación aditiva es una de las áreas en las que presta especial atención, y ofrece préstamos y financiación a medida para empresas que están desarrollando proyectos en este área.
- Fondo Europeo de Inversiones (FEI). El FEI es otra iniciativa europea que ofrece financiación a empresas innovadoras en España y otros países de la UE y al igual que el BEI, ofrece préstamos y garantías para proyectos de alta tecnología, como la fabricación aditiva.

- Invest in Spain. Esta organización gubernamental promueve la inversión extranjera en España y ofrece asesoramiento y apoyo financiero a empresas extranjeras que quieran establecerse en el país. Debido a la creciente importancia de la FA en España, Invest in Spain ha desarrollado programas específicos para empresas que quieren invertir en este sector.

Por otra parte, uno de los principales impulsores del desarrollo endógeno de la fabricación aditiva en España ha sido el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), que ha trabajado en el desarrollo de nuevas técnicas y materiales para la impresión 3D. (CNIM 2023). Además, existen numerosas empresas que se dedican a la fabricación aditiva en España, desde pequeñas empresas hasta grandes multinacionales como HP, que tiene una planta de producción en Barcelona.

Otro factor clave en el desarrollo de la fabricación aditiva en España está siendo la inversión en formación y educación en este campo. Numerosas universidades españolas ofrecen cursos de grado y posgrado en diseño e ingeniería de impresión 3D, y existen centros de investigación como el Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRI) de la Universidad Politécnica de Cataluña que se dedican exclusivamente al estudio de la impresión 3D.

En términos de aplicaciones prácticas, la fabricación aditiva ha tenido un impacto significativo en varias industrias en España, por ejemplo, en la industria aeronáutica se han utilizado técnicas de impresión 3D para la producción de piezas de aviones, lo que ha permitido reducir el peso de los mismos y mejorar su eficiencia y, en la industria médica, se ha utilizado para la producción de prótesis y piezas dentales personalizadas, que han mejorado la calidad de vida de los pacientes.

La fabricación aditiva ha contribuido a la creación de una economía más sostenible al reducir los residuos y los costos de transporte asociados a la producción y distribución de piezas y objetos. Además, ha permitido la producción de piezas más complejas y personalizadas, lo que ha impulsado la innovación y la creatividad en diferentes campos.

En términos de colaboración público-privada, el desarrollo endógeno de la fabricación aditiva en España ha sido respaldado por el gobierno a través de iniciativas como el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, que ha financiado

proyectos de investigación en este campo. También ha habido colaboración entre empresas y centros de investigación para desarrollar nuevas técnicas y materiales para la impresión 3D.

A pesar de los avances en la fabricación aditiva en España, todavía existen desafíos a superar, uno de los principales, es la falta de estandarización en la tecnología de impresión 3D, que dificulta la interoperabilidad entre diferentes sistemas y la producción en masa de piezas. Por otro lado, el costo de la impresión 3D sigue siendo elevado frente a otros métodos de producción, lo que limita su adopción en algunas industrias. (Aliakbari M., 2012). (Wong KV, Hernandez A., 2012)

En resumen, el desarrollo endógeno de la fabricación aditiva en España ha sido impulsado por una combinación de factores como la inversión en investigación y desarrollo, la dedicación en universidades y centros de investigación y la adopción por parte de empresas en diversas industrias. A pesar de los retos por superar, la fabricación aditiva tiene el potencial de transformar la forma en que se producen y diseñan productos.

6. Análisis del sector

6.1 Análisis DAFO

Debilidades.

Este método de producción que permite la creación de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales mediante la adición sucesiva de capas de material, ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años gracias a su aplicación en diversos campos como el de la ingeniería, medicina, moda, etc., sin embargo, sigue presentando algunas debilidades que limitan su uso en determinados sectores. A continuación, se detallan algunas de las debilidades más relevantes de la fabricación aditiva:

- **Limitaciones en cuanto a la calidad del material.**

La mayoría de los materiales que se emplean en la fabricación aditiva tienen una calidad inferior a la de los materiales utilizados en los procesos de fabricación tradicionales, lo que limita el uso de la impresión 3D en la producción de piezas y componentes que requieren una alta resistencia, durabilidad y precisión.

- **Limitaciones en cuanto al tamaño y forma de los objetos.**

Aunque la fabricación aditiva permite crear objetos con formas muy complejas, también presenta en la actualidad limitaciones en cuanto al tamaño y la forma de los

objetos que se pueden fabricar. Los objetos muy grandes pueden requerir demasiado tiempo y material para imprimirse, y los muy pequeños, pueden ser demasiado detallados para imprimirse con precisión.

- **Limitaciones en cuanto a la velocidad de producción.**

La fabricación aditiva es un proceso lento, puede tardar varias horas o incluso días en imprimir un objeto dependiendo de su tamaño y complejidad. Esto hace que no sea una opción viable para la producción en masa.

- **Coste elevado.**

La impresión 3D sigue siendo más cara que los procesos de fabricación tradicionales, lo que supone una barrera para su aprovechamiento en ciertos campos. Los costes en materiales, energía y tiempo, pueden ser significativamente más altos que en la fabricación tradicional, y además, la necesidad de equipos especializados y complejidad de los diseños, pueden agregar gastos adicionales al proceso de impresión. Sin embargo, esta tecnología está en constante evolución y se espera que estos costos disminuyan a medida que se desarrollen técnicas más eficientes y se optimice el proceso de producción. Aún así, en ciertos ámbitos donde la personalización y la producción en pequeñas cantidades son necesarias, la impresión 3D puede resultar más rentable que la fabricación tradicional.

Amenazas.

La fabricación aditiva sigue siendo una tecnología emergente a pesar del acelerado crecimiento que ha experimentado gracias a su capacidad para producir piezas complejas de manera eficiente y muchas veces rentable, pero a medida que esta tecnología avanza, también van surgiendo nuevas amenazas que podrían poner en riesgo su futuro. A continuación, las más importantes a las que se enfrenta:

- **Propiedad intelectual.**

Una de las principales preocupaciones para las empresas que emplean la fabricación aditiva es la protección de la propiedad intelectual. Dado que la tecnología permite la creación de piezas exactas a partir de diseños digitales, existe el riesgo de que se produzcan copias no autorizadas de productos patentados. A esto se suma el peligro del robo o pirateo de los archivos digitales de diseño, que permitiría a los

competidores obtener el acceso a información confidencial. (Kurfess, T.; Cass, WJ., 2014)

- **Calidad y seguridad.**

La fabricación aditiva es una tecnología relativamente nueva y, aunque ha demostrado ser efectiva para producir piezas complejas, aún existen desafíos en lo que a calidad y seguridad se refiere. Es esencial garantizar que las piezas impresas en 3D cumplan con los mismos estándares de calidad que las fabricadas de manera tradicional. Del mismo modo, las piezas impresas pueden presentar en algunos casos, defectos estructurales difíciles de detectar, lo que compromete la seguridad del producto final.

- **Costos y eficiencia.**

Aunque en líneas generales la fabricación aditiva se considera una tecnología rentable, el costo de los materiales y equipos sigue siendo alto en comparación con otros métodos de producción tradicionales. Además, la eficiencia de la tecnología es limitada en términos de producción a gran escala, lo que significa que puede ser más adecuada para la producción de piezas concretas, personalizadas o de baja producción.

- **Regulación.**

La fabricación aditiva todavía está en una etapa temprana de desarrollo y existe poca regulación en términos de calidad, seguridad y responsabilidad. Esto puede ser un problema para las empresas que utilizan esta tecnología, ya que no tienen la suficiente claridad sobre las normas que deben seguir. Por otro lado, esta falta de regulación podría derivar en un riesgo para los consumidores, ya que los productos impresos en 3D pueden no cumplir con los estándares de calidad y seguridad.

- **Impacto ambiental.**

La fabricación aditiva puede ser más sostenible que los métodos de producción tradicionales debido a la capacidad de reducir el desperdicio de materiales y la necesidad de transporte, no obstante, existen preocupaciones en cuanto al impacto ambiental ya que los materiales utilizados en la impresión 3D a menudo son plásticos, y muchos de ellos no son biodegradables. Además, los procesos de fabricación pueden ser intensivos en energía y producir emisiones de gases de efecto invernadero. (Huang, R.; Riddle, M.; Graziano, D.; Warren, J.; Das, S.; Nimbalkar, S.; Cresko, J.; Masanet, E., 2016).

Por tanto, la fabricación aditiva ofrece numerosas oportunidades para la producción eficiente y personalizada de piezas, pero también presenta importantes desafíos en términos de propiedad intelectual, calidad, costos, regulación e impacto ambiental. Para que el sector de la fabricación aditiva prospere, será necesario abordar estas amenazas de manera efectiva mediante la implementación de medidas de seguridad adecuadas, regulaciones claras y una mayor inversión en investigación y desarrollo para mejorar la calidad y eficiencia de la tecnología. Las empresas también deben considerar formas de reducir el impacto ambiental de la mediante el uso de materiales sostenibles y la adopción de prácticas de producción responsables.

En conclusión, aunque hay desafíos significativos que enfrenta el sector de la fabricación aditiva, estos pueden ser abordados de manera efectiva con la colaboración y el compromiso de empresas, reguladores y consumidores. La fabricación aditiva tiene el potencial de revolucionar la forma en que se producen y distribuyen productos, pero solo si se manejan estas amenazas de manera responsable y sostenible.

Fortalezas.

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, es una tecnología emergente que ofrece numerosas fortalezas para la producción de piezas y productos. A continuación, se presentan algunas de las principales fortalezas del sector de la fabricación aditiva:

- **Producción personalizada.**

La fabricación aditiva permite la producción personalizada de piezas y productos. Los archivos digitales de diseño pueden ser modificados fácilmente para adaptarse a las necesidades individuales de los clientes, lo que significa que los productos pueden ser adaptados a las preferencias específicas de cada persona. Esto se traduce en una mayor satisfacción del cliente y una mayor lealtad a la marca.

- **Producción rápida y eficiente.**

La fabricación aditiva permite la producción rápida y eficiente de piezas. A diferencia de los métodos de producción tradicionales, que pueden requerir moldes y herramientas costosos y tiempo para su creación, la impresión 3D puede producir piezas directamente desde archivos digitales de diseño. Esto se traduce en una reducción del tiempo de producción y una mayor eficiencia en la producción.

- **Producción de piezas complejas.**

La fabricación aditiva permite la producción de piezas complejas que serían difíciles o imposibles de producir con métodos de producción tradicionales. Esto se debe a que la tecnología puede crear piezas capa por capa, lo que significa que puede producir formas y diseños complejos con facilidad. Esto se traduce en una mayor creatividad en el diseño de productos y en la posibilidad de crear piezas únicas y personalizadas. (Gibson, I.; Rosen, DW; Stucker, B., 2010).

- **Reducción de costos.**

La fabricación aditiva puede reducir los costos de producción al eliminar la necesidad de herramientas y moldes costosos. Además, el proceso de impresión 3D puede reducir el desperdicio de materiales, ya que solo se utiliza la cantidad necesaria de material para producir la pieza. Esto se traduce en una reducción de los costos de producción y en una mayor rentabilidad para las empresas.

- **Producción localizada.**

La fabricación aditiva permite la producción localizada de piezas y productos. Esto significa que las empresas pueden producir piezas y productos en el lugar donde se necesitan, lo que reduce los costos de transporte y los tiempos de entrega. Además, la producción localizada puede reducir el impacto ambiental de la producción al reducir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el transporte. (Birchnell, T.; Urry, 2012).

- **Innovación y flexibilidad.**

La fabricación aditiva permite la innovación y la flexibilidad en la producción de piezas y productos. Los archivos digitales de diseño pueden ser modificados fácilmente para adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado y los clientes. Esto significa que las empresas pueden ser más ágiles y adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda del mercado.

En resumen, la fabricación aditiva ofrece numerosas fortalezas para la producción de piezas y productos personalizados, rápidos, eficientes, complejos, rentables y sostenibles. Esta tecnología emergente tiene el potencial de revolucionar la forma en que se producen y distribuyen productos en una amplia variedad de sectores, desde la industria aeroespacial y automotriz hasta la medicina y la moda. A medida que la tecnología continúa avanzando y

madurando, es probable que se descubran nuevas fortalezas que impulsarán aún más el crecimiento y la adopción de la fabricación aditiva en todo el mundo. (Frazier, WE., 2014).

Oportunidades.

El sector de la fabricación aditiva tiene una serie de oportunidades que pueden impulsar su crecimiento y adopción en diversos campos. A continuación, se presentan algunas de las principales oportunidades del sector de la fabricación aditiva:

- **Personalización.**

La fabricación aditiva permite la producción de piezas y productos personalizados a un costo razonable. Esto es particularmente útil en la producción de productos médicos y dentales, como prótesis y ortesis, donde cada paciente tiene requisitos únicos. Además, la personalización también es importante en la producción de productos de consumo y en la moda.

- **Producción en serie de piezas complejas.**

La fabricación aditiva permite la producción en serie de piezas complejas que serían difíciles o imposibles de producir con métodos de producción tradicionales. Esto es especialmente útil en la producción de piezas para la industria aeroespacial y de defensa, donde se requieren piezas ligeras y resistentes. (Aliakbari M., 2012)

- **Producción local.**

La fabricación aditiva permite la producción de piezas y productos localmente, lo que reduce los costos de envío y reduce el tiempo de entrega. Esto es especialmente útil en la producción de piezas y productos personalizados, ya que los clientes pueden recibir sus productos más rápidamente.

- **Reducción de costos.**

La fabricación aditiva puede reducir los costos de producción en comparación con los métodos de producción tradicionales. Esto se debe a que la fabricación aditiva utiliza menos materiales y produce menos residuos. Además, la producción en serie de piezas complejas puede ser más eficiente con la fabricación aditiva.

- **Investigación y desarrollo.**

La fabricación aditiva también puede ser una herramienta valiosa en la investigación y

el desarrollo. La capacidad de producir rápidamente prototipos y piezas personalizadas puede acelerar el desarrollo de nuevos productos y mejorar la eficiencia del proceso de diseño.

- **Innovación.**

La fabricación aditiva también puede permitir la creación de nuevos diseños y productos que no serían posibles con métodos de producción tradicionales. Esto se debe a que la fabricación aditiva es capaz de producir formas y geometrías complejas que no se pueden producir con otros métodos de producción.

- **Sostenibilidad.**

La fabricación aditiva también puede ser una herramienta importante para la sostenibilidad. Debido a que la fabricación aditiva produce menos residuos y utiliza menos materiales, puede ser una alternativa más sostenible a los métodos de producción tradicionales. (Ford, S.; Despeisse, M., 2016).

- **Economía circular.**

La fabricación aditiva puede ser utilizada en la implementación de modelos de economía circular, en los que los residuos y desechos son transformados en nuevos objetos mediante la impresión 3D. Esto puede ser especialmente útil en sectores como la moda y el diseño, donde se pueden reutilizar los residuos y desechos para producir nuevos objetos.

- **Educación y formación.**

La fabricación aditiva ofrece nuevas posibilidades para la educación y la formación, permitiendo a los estudiantes aprender sobre diseño y producción de objetos tridimensionales de manera práctica y experimental. Además, la fabricación aditiva también puede ser utilizada en programas de formación profesional y capacitación laboral.

En resumen, el sector de la fabricación aditiva tiene numerosas oportunidades que pueden impulsar su crecimiento y adopción en diversos campos. Estas oportunidades incluyen la personalización, la producción en serie de piezas complejas, la producción local, la reducción de costos, la investigación y el desarrollo, la innovación y la sostenibilidad. Como la tecnología sigue avanzando y madurando, es probable que surjan nuevas oportunidades que

puedan impulsar aún más el crecimiento y la adopción de la fabricación aditiva en todo el mundo.

6.2 Análisis PESTEL. Macroentorno

Los elementos del entorno externo son de carácter general y persisten independientemente de la ocurrencia de transacciones comerciales. En términos generales, los aspectos que conforman el entorno externo engloba variables tales como el Producto Interno Bruto (PIB), la política monetaria y fiscal, y la tasa de inflación.

Con el fin de examinar el entorno externo de una compañía, se emplea el análisis PESTEL. El análisis PESTEL establece la situación actual del mercado y su dirección futura.

A continuación, se presenta un análisis PESTEL que considera los factores del macroentorno que impactan en el sector de la fabricación aditiva de metal:

Políticos

Los factores políticos ejercen una gran influencia en el sector de la fabricación aditiva de metal. Las políticas gubernamentales, ya sea a nivel nacional o internacional, pueden afectar significativamente a la industria. Las políticas relacionadas con el comercio, los aranceles y las regulaciones pueden restringir la capacidad de las empresas para importar y exportar sus productos, así como afectar a los costos de los productos, la competitividad de las empresas y la disponibilidad de materias primas. Además, las políticas en torno a la propiedad intelectual pueden limitar la capacidad de las empresas para proteger sus derechos de propiedad intelectual y mantener una ventaja competitiva. Por lo tanto, las empresas deben seguir de cerca las políticas gubernamentales para adaptarse a los cambios y mantener una ventaja competitiva. (Kurfess, T.; Cass, WJ., 2014). (Khorram Niaki, M.; Nonino, F., 2017).

Económicos

Los factores económicos también tienen un impacto en el sector de la fabricación aditiva de metal, como el PIB, la inflación y las tasas de interés. Un crecimiento económico sólido y una baja inflación pueden aumentar la demanda de productos de la industria, mientras que las tasas de interés más altas pueden reducir la demanda. También es importante considerar el poder adquisitivo de los consumidores y la estabilidad financiera de los mercados globales. Por ejemplo, entrando más en detalle, la estabilidad financiera de los

mercados globales es importante para la industria, ya que cualquier crisis financiera puede afectar la demanda de productos y la disponibilidad de inversión.

Sociales

Los factores sociales pueden influir en la demanda de productos del sector de la fabricación aditiva de metal. Las tendencias de consumo y las preferencias de los consumidores pueden afectar la demanda de los productos de la industria. Por ejemplo, la demanda de productos personalizados y de alta calidad puede estar en aumento debido a las preferencias de los consumidores por productos únicos y duraderos. Además, la diversidad cultural y la inclusión son temas importantes para las empresas que buscan atraer y retener empleados y ganar la confianza de los consumidores.

Tecnológicos

El sector de la fabricación aditiva de metal está altamente influenciado por factores tecnológicos. Las innovaciones tecnológicas pueden mejorar la eficiencia y la calidad de los productos, así como reducir los costos de producción, tal y como se ha mencionado en apartados anteriores. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías puede abrir nuevas oportunidades para la industria, como la capacidad de fabricar piezas más complejas o personalizadas. Cabe destacar la importancia de tener en cuenta el ritmo de la evolución tecnológica y cómo se adoptan las nuevas tecnologías en la industria. Las empresas que adoptan rápidamente las nuevas tecnologías pueden tener una ventaja competitiva sobre las que no lo hacen.

Ambientales

Los factores ambientales también pueden afectar al sector de la fabricación aditiva de metal. La industria puede enfrentar presiones regulatorias para reducir su impacto ambiental y adoptar prácticas más sostenibles. Además, la disponibilidad de recursos naturales, como los metales, puede afectar la capacidad de la industria para producir y ofrecer productos.

Las preocupaciones sobre el cambio climático y la sostenibilidad están llevando a las empresas a buscar formas más sostenibles de fabricar productos. Las empresas deben considerar el uso de materiales reciclables y la reducción de residuos para reducir su impacto ambiental. Además, las regulaciones ambientales pueden afectar a la industria, como las

regulaciones sobre emisiones de gases de efecto invernadero y la eliminación adecuada de residuos peligrosos. (Ford, S.; Despeisse, M., 2016).

Legales

El sector de la fabricación aditiva de metal también está influenciado por factores legales, como las leyes de propiedad intelectual, las regulaciones de salud y seguridad y las leyes de responsabilidad. Las empresas deben cumplir con estas regulaciones para evitar sanciones y proteger su reputación. Además, las leyes en torno a la privacidad y la protección de datos también pueden ser importantes para las empresas que manejan información confidencial.

La capacidad de una empresa para adaptarse a los cambios del entorno se convierte en un aspecto esencial para mantenerse competitiva en un mercado que se encuentra en constante evolución. Si las empresas están atentas a los factores del macroentorno, serán capaces de anticipar y responder adecuadamente a los cambios en el mercado, como la introducción de nuevas tecnologías o los cambios en las políticas gubernamentales, permitiendo aprovechar las oportunidades y minimizar las amenazas.

En este sentido, las empresas que adoptan medidas proactivas para adaptarse al entorno no solo ganan la confianza y lealtad de sus clientes, demostrando su compromiso con la sostenibilidad ambiental y social, y con la protección de datos y privacidad, sino que también pueden atraer y retener a los empleados mediante la creación de un ambiente de trabajo seguro e inclusivo.

Por lo tanto, la adaptación al entorno se convierte en un factor clave para mantener una ventaja competitiva en la industria, y las empresas que son capaces de hacerlo de manera efectiva tienen mayores posibilidades de éxito a largo plazo. En consecuencia, resulta crucial que las empresas estén conscientes de los factores del macroentorno y tomen medidas necesarias para adaptarse a los cambios del entorno y mantenerse en la vanguardia del mercado.

6.3 Análisis de Porter. Microentorno

El término microentorno se entiende por todo aquello que tenga el poder de crear una influencia externa próxima a la empresa, capaz de impactar directamente en su capacidad productiva o en la prestación del servicio al usuario final.

El análisis de Porter es una herramienta útil para examinar la competencia en un mercado específico. Se centra en cinco fuerzas clave que afectan a la industria: la amenaza de nuevos competidores, la intensidad de la rivalidad entre competidores existentes, la amenaza de productos o servicios sustitutos, el poder de negociación de los proveedores y el poder de negociación de los clientes. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada una de estas fuerzas en el microentorno de la fabricación aditiva de metal.

Amenaza de nuevos competidores

La posible entrada de nuevos competidores es una amenaza que se presenta en la industria de la fabricación aditiva de metal, la cual es relativamente joven pero de rápido crecimiento. A pesar de que puede resultar atractiva para los nuevos entrantes, la complejidad y el costo de la tecnología involucrada en la fabricación aditiva de metal puede desalentarlos, ya que se requiere de una elevada inversión inicial en equipos y formación especializada. Además, la entrada a esta industria se ve obstaculizada por barreras relativamente altas debido a la necesidad de poseer conocimientos técnicos y experiencia en diseño de productos. Por otra parte, la mejora de la tecnología es un proceso complejo y costoso que requiere una significativa inversión en investigación y desarrollo.

Intensidad de la rivalidad entre competidores existentes

En cuanto a la intensidad de la rivalidad entre los competidores existentes en esta industria, se puede observar que ésta aún no está muy fragmentada debido a que no hay una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas compitiendo entre sí. Sin embargo, los competidores que existen tienden a diferenciarse a través de la calidad del producto, precio, variedad de productos y servicios ofrecidos, innovación y la capacidad de satisfacer las necesidades del cliente. La existencia de patentes y derechos de propiedad intelectual también puede limitar la entrada de nuevos competidores, lo que a su vez influye en la intensidad de la competencia. Conforme la industria se expanda y se consolide, es probable que la rivalidad entre competidores existentes aumente, al igual que en los sectores que utilizan procesos tradicionales. (Khorram Niaki, M.; Nonino, F., 2017).

Amenaza de productos o servicios sustitutos

En lo que respecta a esta amenaza en la industria de la fabricación aditiva, es importante destacar que compite con otros procesos de fabricación tales como la fundición, forja y mecanizado. Sin embargo, la impresión 3D de metal tiene ciertas ventajas competitivas, como

la capacidad de producir piezas con geometrías complejas y la reducción de residuos. Además, este novedoso proceso de fabricación avanzada es capaz de producir piezas con alta precisión y calidad, y proporciona capacidades únicas de diseño y producción que no se pueden obtener con otros procesos de fabricación, lo que la hace atractiva para ciertos sectores industriales, como el aeroespacial y el médico, entre muchos otros.

Poder de negociación de los proveedores

Los proveedores de materiales para la fabricación aditiva de metal tienen un alto poder de negociación, ya que hay un número limitado de proveedores de materias primas de alta calidad. Si bien es cierto, se espera que la industria tenga en un futuro próximo una mayor oferta de materiales a medida que vaya creciendo y se vayan estudiando nuevas aleaciones de materiales. Los proveedores también pueden tener cierto poder de negociación en términos de precios y plazos de entrega, pero la industria ha desarrollado relaciones de colaboración con proveedores para garantizar la disponibilidad de materiales y la calidad.

Poder de negociación de los clientes

Por contra, los compradores presentan un escaso poder de negociación debido a la limitada cantidad de proveedores en el mercado y la capacidad limitada de los compradores para encontrar proveedores alternativos. Además, los clientes valoran altamente la calidad, la precisión y la capacidad innovadora de los proveedores, lo que puede disminuir aún más su capacidad de negociación. En determinados sectores industriales, como la aeronáutica y la industria médica, se exige el cumplimiento de estándares rigurosos de calidad y regulación, lo que puede restringir la capacidad de los clientes para cambiar de proveedor.

En conclusión, el análisis del microentorno es fundamental para entender las fuerzas que afectan a una empresa y su capacidad productiva. El análisis de Porter es una herramienta útil para examinar la competencia en un mercado específico, y en la industria de la fabricación aditiva se identifican distintas fuerzas que impactan en la capacidad productiva y en la prestación del servicio al cliente final. Es importante destacar que la fabricación aditiva de metal presenta ventajas competitivas, pero también enfrenta desafíos, como la complejidad y el costo de la tecnología involucrada y la limitada cantidad de proveedores de materias primas de alta calidad. En general, este sector es joven y se encuentra en un muy rápido crecimiento con un gran potencial para la innovación y la creación de nuevos productos y soluciones en diversos sectores industriales.

7. Objetivos

7.1 Objetivo general

El objetivo general que persigue la fabricación aditiva es **integrar esta tecnología en los procesos de fabricación a escala industrial.**

Se busca crear soluciones híbridas que combinen la FA con lo mejor de los procesos tradicionales de fabricación, como el mecanizado y la fundición, y en muchos casos incluso sustituirlos por completo, mejorando así la eficiencia de la producción.

Para conseguir este objetivo se están desarrollando equipos avanzados que permitan la impresión a escala industrial y en múltiples materiales.

Se pretende que estas tecnologías continúen avanzando hasta conseguir esta transición en 2030 logrando para ello los objetivos que se presentan a continuación .

7.2 Objetivos específicos

- Reducir los costes totales de producción en un 30% en los próximos 5 años y en un 40% en los dos años siguientes.
- Incorporar esta tecnología en los planes de estudio de las instituciones educativas.
- Aumentar la capacidad tecnológica de España
- Establecer alianzas estratégicas nacionales e internacionales.
- Reducir el consumo energético en un 60% en 2030.
- Reducir el consumo de materia prima en más de un 60%.
- Simplificar los procesos productivos tradicionales en más de un 50%.
- Disminuir el tiempo del personal productivo en torno a un 80%.
- Eliminar las emisiones de gases contaminantes al ambiente como el benceno.
- Eliminación de poros y, por consiguiente, eliminación de los procesos tradicionales de pulido posteriores a la fabricación.
- Reducir los procesos de fundición un 85% en 2030.
- Reducir los costos de gestión de residuos metálicos de las empresas en un 80%.
- Aumentar el volumen de facturación de las empresas del sector entre un 30-45% en los próximos 7 años.
- Desarrollar herramientas de software e instrumentaciones que simplifiquen la adopción de la tecnología por parte de los usuarios.

7.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible

La fabricación aditiva puede ser una herramienta clave para alcanzar muchos de los objetivos establecidos en la Agenda 2030 y es necesario seguir explorando sus capacidades para apoyar la construcción de un futuro sostenible. En este sentido, de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible que se plantean en la Agenda, la FA puede contribuir en la consecución de estos cinco:

- ODS 7, Energía asequible y no contaminante: la impresión 3D puede reducir significativamente el gasto de energía y la huella de carbono en la fabricación, lo que conduce a una producción más sostenible.
- ODS 8, Trabajo decente y crecimiento económico: la industria de la fabricación aditiva está en auge, lo que crea oportunidades y empleos para los trabajadores.
- ODS 9, Industria, Innovación e Infraestructura: la impresión 3D está revolucionando la forma en que se construyen infraestructuras y procesos industriales, lo que puede impulsar una mayor innovación.
- ODS 11, Ciudades y comunidades sostenibles: la impresión 3D se está utilizando para crear edificios y estructuras más sostenibles y eficientes energéticamente.
- ODS 12, Producción y consumo responsable: con la impresión 3D, se puede producir solo lo que se necesita, reducir así los residuos y promover el consumo responsable.

(M^a José Gámez, Naciones Unidas, 2022).

7.4 Estrategias políticas

Para promover el desarrollo y la adopción de la fabricación aditiva, existen varias estrategias políticas tales como:

- **Fomento de la inversión en investigación y desarrollo:** establecer programas de financiación e incentivos para promover la I+D+i.
- **Establecimiento de políticas y regulaciones claras:** implementar directrices y normativas bien definidas para fomentar y respaldar el avance de la fabricación aditiva, esto implica la creación de estándares técnicos, regulaciones de seguridad y medidas de protección de la propiedad intelectual. Al establecer un entorno normativo sólido y predecible, se incentivará la inversión y la adopción de esta tecnología.
- **Promoción de la educación y la capacitación:** incluir la incorporación de esta tecnología en los planes de estudio de las instituciones educativas, la creación de

programas de capacitación para trabajadores y la promoción de la formación continua en el sector, lo que ayudará a crear una fuerza laboral calificada y preparada para enfrentar los desafíos de la fabricación aditiva.

- **Creación de alianzas y colaboraciones:** promover la formación de alianzas y colaboraciones nacionales e internacionales entre la industria, las instituciones académicas y los centros de investigación. Esto fomentará la transferencia de conocimientos, la colaboración en proyectos conjuntos y la creación de ecosistemas innovadores. Además, estas alianzas facilitan el intercambio de buenas prácticas y la promoción de estándares comunes.
- **Impulso de sectores estratégicos:** identificar sectores estratégicos donde la fabricación aditiva tenga un impacto significativo y promueva su adopción en esas áreas.
- **Concienciación y divulgación:** apoyar campañas de divulgación, organizar eventos y conferencias, y colaborar con los medios de comunicación para difundir información precisa y actualizada sobre sus beneficios y aplicaciones, esto ayudará a generar interés, confianza y apoyo público hacia la tecnología.
- **Creación de programas de incentivos:** establecer convocatorias de ayudas o subvenciones para la adquisición de equipos de impresión 3D, subsidios para la capacitación de personal y beneficios fiscales para empresas que implementen esta tecnología en sus procesos de producción.
- **Creación y fomento de laboratorios y centros de excelencia:** estos centros pueden servir como hubs de innovación, donde se realizan investigaciones avanzadas, se desarrollan nuevas tecnologías y se brinda apoyo técnico a las empresas y emprendedores interesados en la fabricación aditiva.
- **Fomento de creación de startups y empresas innovadoras:** crear entornos favorables para la creación y el crecimiento de startups y empresas innovadoras en este sector, y simplificar los trámites burocráticos, la provisión de espacios de trabajo compartidos (coworking), el acceso a la financiación y la creación de programas de incubación y aceleración empresarial específicos para emprendedores.

8. Indicadores de Medición de Resultados

En España existen varios **planes y programas gubernamentales que van a favorecer el crecimiento y progreso de la fabricación aditiva**, ya que éstos promueven la

transformación digital de la industria y el desarrollo de la investigación científica y tecnológica. A continuación los dos más relevantes:

- **El Plan Nacional de Industria 4.0** del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, cuyo objetivo es impulsar la transformación digital de la industria española mediante la adopción de tecnologías avanzadas. Este plan incluye medidas para promover la innovación en este campo, así como para mejorar la formación y la capacitación de los trabajadores.

Indicadores de Medición Existentes:

1. Incremento de la productividad de las empresas.
2. Crecimiento de las exportaciones en sectores de alta intensidad tecnológica.
3. Aumento del número de empresas que incorporan tecnologías digitales avanzadas en sus procesos productivos.
4. Incremento del número de empresas que ofrecen servicios avanzados basados en tecnologías digitales.
5. Creación de empleo altamente calificado y sostenible.

Para medir estos indicadores, el Gobierno de España recopila datos de diversas fuentes y elabora estudios periódicos que analizan la evolución de la industria 4.0 en el país. También realiza el seguimiento y evaluación de los proyectos y programas impulsados en el marco del Plan Nacional de Industria 4.0. (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2023). (Informe preliminar La transformación digital de la industria española, 2015)

- **El Plan de Investigación Científica y Técnica y de Innovación** del Ministerio de Ciencia e Innovación, que establece las prioridades en materia de investigación y desarrollo en España. Uno de los objetivos es fomentar la investigación en tecnologías avanzadas, como la fabricación aditiva.

Indicadores de Medición de Resultados Existentes:

1. Indicadores de producción científica: medición de las publicaciones científicas, las tesis doctorales, las patentes y los registros de propiedad intelectual generados en el ámbito de la investigación y la innovación.

2. Indicadores de calidad: evaluación del impacto de la producción científica y técnica mediante criterios como el número de citas, el factor de impacto de las revistas científicas, la relevancia de las patentes y la transferencia de conocimiento a la sociedad.
3. Indicadores de transferencia: medición de las actividades de investigación y desarrollo que llevan a cabo las empresas y las instituciones públicas y privadas, y su capacidad para transferir los resultados de la investigación a la sociedad y al mercado.

Evaluación: medición de la eficacia y eficiencia de los programas públicos de financiación para la investigación y la innovación. (Ministerio de Ciencia e Innovación, PEICTI 2021-2023).

Indicadores de Medición de Resultados Propuestos:

- Incremento en la adopción de tecnologías de fabricación 3D por empresas de distintos sectores.
- Aumento en el número de empresas que incorporan esta tecnología a su proceso de producción.
- Crecimiento en la oferta de servicios de impresión y diseño en 3D por parte de empresas especializadas.
- Incremento en la cantidad y calidad de materiales y herramientas disponibles para la fabricación aditiva.
- Aumento en el número de patentes y publicaciones científicas relacionadas con la fabricación aditiva.
- Mejora en la eficiencia y reducción de costos en los procesos productivos que incorporan este método de fabricación.
- Aumento en la adaptabilidad de los procesos productivos a la demanda del mercado y a las variaciones en el diseño de los productos.
- Número de startups que trabajan con esta tecnología.
- Crecimiento en la colaboración y trabajo en red entre empresas, centros de investigación y universidades para el desarrollo de proyectos de fabricación aditiva.
- Estadística de inversiones extranjeras que permiten el desarrollo de nuevos proyectos de la industria de la fabricación aditiva.
- Estudios del grado de cumplimiento de los distintos planes y programas.

9. Futuro del sector

9.1. Avances tecnológicos

El porvenir del ámbito de la manufactura aditiva de metales muestra una gran promesa y se augura un crecimiento sostenido en los años venideros. En la medida en que las tecnologías siguen evolucionando, la fabricación aditiva se consolida como una herramienta cada vez más relevante en la industria manufacturera, y particularmente en el sector de la producción metalúrgica.

Algunas de las tendencias y desarrollos que se esperan en el futuro y en las que ya se están trabajando en el sector de la fabricación aditiva incluyen:

La adopción de la fabricación aditiva de metal por parte de las empresas se espera que aumente a medida que la tecnología se consolide y se demuestre su valía. Aunque todavía queda por mejorar aspectos clave, como la velocidad de deposición que actualmente se sitúa en torno a los 500 gramos por hora, cuando para ser competitiva debería alcanzar aproximadamente el doble, es decir, alrededor de un kilogramo por hora. Además, el acabado superficial de las piezas terminadas es otro factor fundamental que se está mejorando y que ya presenta interesantes variaciones según el láser utilizado, ofreciendo acabados de mayor calidad pero a menor velocidad, o velocidades más elevadas pero con un acabado menos fino, según las necesidades. Otro aspecto que se está abordando es la inertización durante el proceso de impresión, para evitar la oxidación y reducir el coste final de las piezas. Todo ello con el objetivo de hacer que la fabricación aditiva de metal sea cada vez más atractiva para los fabricantes.

A medida que la tecnología de fabricación aditiva de metales sigue progresando, se espera que se **amplíe la gama de materiales disponibles**. En la actualidad, como hemos visto, los materiales más utilizados son el acero inoxidable, el aluminio y el titanio, pero se prevé que en el futuro se desarrollen otros materiales, lo que ampliará las posibilidades y aplicaciones de la tecnología. En particular, en el caso de materiales como el titanio, la inertización durante el proceso de impresión es fundamental para evitar problemas de oxidación, lo que está siendo objeto de intensa investigación para lograr un proceso adecuado y seguro, ya que actualmente los resultados obtenidos en piezas prototipos son bastante negativos.

Entre los materiales que próximamente se podrían utilizar en la FA encontramos los siguientes:

- **Acero inoxidable 17-4PH**

Se trata de una aleación de alta resistencia martensítica, que contiene cromo, níquel y cobre. Este material se caracteriza por su gran dureza y excelente resistencia a la corrosión, lo que lo hace idóneo para su uso en aplicaciones industriales y médicas.

Se emplea ampliamente en sectores como el del petróleo y gas, en la industria aeroespacial, en la energética y en el de defensa. Las aplicaciones del acero inoxidable 17-4PH incluyen impulsores de bombas, tuberías y válvulas.

Entre sus ventajas se encuentran su alta resistencia a la tracción y a la fatiga, por eso es un material muy adecuado para componentes estructurales en aplicaciones aeroespaciales y militares. Además, tiene una buena resistencia a la corrosión en ambientes agresivos y corrosivos, lo que lo hace apto para su uso en la industria química y petroquímica. El tratamiento térmico puede mejorar aún más su resistencia y dureza.

Sin embargo, aún presenta algunas desventajas, por ejemplo, su alta resistencia y dureza que lo hacen difícil de mecanizar, requiere de herramientas de corte de alta calidad y habilidades especializadas para trabajarlo. Además, su costo es más elevado que algunos otros aceros inoxidables debido a sus propiedades únicas y alta resistencia. Por último, el material es sensible a la contaminación por partículas de hierro durante el proceso de fabricación, lo que puede afectar su resistencia a la corrosión.

Los resultados muestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de MELTIO se comportan al mismo nivel que los métodos convencionales, con bajas desviaciones y propiedades casi isotrópicas entre orientaciones de impresión vertical (XZ). (Meltio, 2023)

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
Propiedades en Forjado	-	1310	1170	10	388

Equipos de MELTIO	XZ	1007	815	14.29	258
Equipos de MELTIO post Tratamiento térmico	XZ	1391	1243	10	393

Tabla 9. *Propiedades del acero inoxidable 17-4PH*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
450 mm/min	1 mm	0.8 mm	1100W

Tabla 10. *Parámetros de impresión utilizado con el acero inoxidable 17-4PH*

- **Acero de herramienta H11**

Este material es una aleación de acero al cromo, se utiliza ampliamente en la fabricación de herramientas de corte, matrices y moldes para la industria de la fabricación y la ingeniería debido a su excelente resistencia al impacto. Tiene una alta dureza, resistencia al calor, buena maquinabilidad y resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para su uso en ambientes húmedos y corrosivos, y en aplicaciones donde la herramienta debe soportar altas temperaturas y fricción.

Sin embargo, este material de alta calidad también tiene algunas desventajas, como su costo más elevado en comparación con otros materiales utilizados en la fabricación de herramientas, fragilidad y la necesidad de un mantenimiento regular y cuidadoso para garantizar su rendimiento óptimo y prolongar su vida útil.

Los resultados muestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de MELTIO se comportan al mismo nivel que los métodos convencionales, con bajas desviaciones y propiedades casi isotrópicas entre orientaciones de impresión vertical (XZ). (Meltio, 2023)

	EJES	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
--	------	------------------------------	-----------------------	------------------	----------------

Propiedades en Forjado	-	1990	1650	9	558
Equipos de MELTIO	XZ	1771.34	1170.14	3.46	561
Equipos de MELTIO post Tratamiento térmico	XZ	2086	1735	12	558

Tabla 11. *Propiedades del acero de herramienta H11*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
300 mm/min	1 mm	1.2 mm	1100W

Tabla 12. *Parámetros de impresión utilizado con el acero de herramienta H11*

- **Níquel 625**

Se trata de una aleación a base de níquel con excelentes propiedades mecánicas en un amplio rango de temperaturas, siendo el Ni625 una de las superaleaciones más destacadas por su facilidad de soldadura, que lo convierte en una opción ideal para el revestimiento o la reparación de componentes que trabajan a altas temperaturas, o que requieren una mayor protección contra la corrosión.

Esta aleación de níquel-cromo-molibdeno tiene múltiples aplicaciones en la industria, desde la química hasta la aeroespacial. Entre sus ventajas, se encuentra su resistencia a la corrosión en ambientes corrosivos, lo que la hace adecuada para su uso en tuberías, válvulas y equipos de proceso; su alta resistencia mecánica, ideal para piezas de motores de aviones y turbinas; y su buena soldabilidad, útil en la industria aeroespacial para obtener alta calidad de soldadura.

Sin embargo, también presenta algunas desventajas, como su elevado costo debido a la complejidad de su producción y su toxicidad, ya que durante su mecanizado o soldadura puede liberar vapores perjudiciales para la salud, lo que requiere medidas de seguridad adecuadas durante su manejo.

- **Invar**

El Invar es una aleación de hierro y níquel conocida por su bajo coeficiente de dilatación térmica, lo que significa que su volumen apenas cambia cuando se expone a cambios de temperatura. Esta propiedad lo convierte en un material altamente valorado en aplicaciones donde la precisión dimensional es crítica, como en la fabricación de instrumentos de medición y herramientas de corte. Además, el Invar se puede soldar fácilmente con técnicas convencionales de soldadura y es muy estable dimensionalmente.

Sin embargo, el Invar es un material frágil y tiene una baja resistencia a la deformación plástica, lo que lo hace susceptible a la fractura bajo esfuerzos mecánicos significativos. Además, debido a su baja conductividad térmica, el Invar puede ser difícil de mecanizar, lo que aumenta el costo de fabricación de piezas complejas. Finalmente, el Invar es relativamente costoso debido a la complejidad de su producción y la baja oferta en el mercado.

Los resultados muestran que las muestras impresas en 3D con LMD de alambre de MELTIO se comportan al mismo nivel que los métodos convencionales, con bajas desviaciones y propiedades casi isotrópicas entre orientaciones de impresión vertical (XZ). (Meltio, 2023).

	EJE S	Resistencia a Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HV-30)
Propiedades en Forjado	-	448	241	31	127
Equipos de MELTIO	XZ	522+-14	337+-22	24+-2	147

Tabla 13. *Propiedades del invar*

Parámetros de impresión utilizados:

Velocidad de Impresión	Deposición Anchura	Capa Altura	Potencia del Láser
450 mm/min	1 mm	0.8 mm	1100W

Tabla 14. *Parámetros de impresión utilizado con el invar*

Por otro lado, la previsión es que la fabricación aditiva de metal se automatice cada vez más, lo que permitirá reducir tanto el tiempo como la mano de obra necesarios para producir piezas. Además, la automatización mejorará la precisión y calidad de las piezas, disminuyendo así los errores humanos y aumentando la eficiencia en la producción. En la actualidad, ya se están desarrollando células de fabricación que integran diferentes robots con la tecnología láser, con el fin de aumentar la automatización del proceso.

Aunque en la actualidad la mayoría de las piezas producidas mediante fabricación aditiva de metales son de tamaño reducido, en el futuro será posible imprimir piezas de mayor tamaño. Esta ampliación de capacidad permitirá una mayor variedad de aplicaciones de la tecnología.

La fabricación aditiva de metal se va a ir integrando cada vez más con otras tecnologías, como la robótica y la inteligencia artificial, con el objetivo de mejorar la automatización y la eficiencia en la producción. Esta integración tecnológica también permitirá la creación de diseños personalizados y más complejos en la producción de piezas.

Con el avance de esta tecnología, se prevé que se abran nuevas oportunidades en sectores emergentes, tales como la medicina, la energía renovable y la industria aeroespacial y se espera que esto, permita la producción de piezas y componentes personalizados y más eficientes para estas industrias en particular. (Huang, R.; Riddle, M.; Graziano, D.; Warren, J.; Das, S.; Nimbalkar, S.; Cresko, J.; Masanet, E., 2016).

En definitiva, el futuro del campo de la fabricación aditiva de metal presenta un panorama muy alentador, y se prevé que siga evolucionando en los próximos años. Se anticipa que la tecnología seguirá progresando, lo que permitirá ampliar las posibilidades y aplicaciones de la fabricación aditiva de metal. Asimismo, se espera que la automatización y la integración con otras tecnologías continúen mejorando la eficacia y la excelencia de la producción.

A continuación, se presentan algunas **tendencias y desarrollos específicos** que pueden ser de interés:

En la actualidad, el mercado ofrece diversas tecnologías de impresión de metal, como la sinterización selectiva por láser (SLS) y la deposición de energía dirigida (DED). No obstante, se prevé el desarrollo de tecnologías más avanzadas, como la fotolitografía de metal y la

impresión de metal líquido, que permitirán alcanzar un mayor nivel de precisión y control en la producción de piezas.

Se espera que la fabricación aditiva de metal se integre con la tecnología de la nube, lo que permitirá a los usuarios acceder a una amplia gama de materiales y tecnologías de impresión de metal a través de una plataforma en línea. Esta integración puede ofrecer mayores oportunidades para la colaboración y la personalización en la producción de piezas, al permitir la compartición de diseños y datos de producción entre diferentes usuarios en diferentes ubicaciones geográficas.

En la actualidad, la mayoría de las piezas fabricadas mediante impresión 3D de metales están compuestas por un único tipo de metal. No obstante, ya se están desarrollando tecnologías que permiten la impresión de metales combinados, lo que amplía el campo de aplicación de esta tecnología.

Se está investigando el uso de la fabricación aditiva de metal en el espacio para superar los desafíos de producción de piezas y componentes en un entorno de gravedad cero y con limitaciones de peso y espacio. Se espera que la tecnología permita la producción de piezas utilizando materiales disponibles en el espacio, lo que podría reducir los costos y la necesidad de transportar piezas desde la Tierra. Esta aplicación también podría tener implicaciones significativas para la exploración y la colonización espacial en el futuro.

En el futuro, se pretende desarrollar materiales biodegradables que puedan ser utilizados en la fabricación aditiva de metal. Estos materiales se utilizarán en aplicaciones médicas y ambientales, y permitirán la producción de piezas seguras para el medio ambiente que se descomponen naturalmente. Además de ampliar la gama de materiales disponibles, esto puede contribuir a la sostenibilidad y protección del medio ambiente.

9.2 Expansión del mercado

Conforme la tecnología ha evolucionado, la fabricación aditiva de metal se ha vuelto una opción cada vez más popular en varias industrias debido a sus beneficios, incluyendo la capacidad de producir piezas complejas con geometrías difíciles o imposibles de lograr con métodos tradicionales de fabricación.

En los últimos años, el mercado de la fabricación aditiva de metal ha experimentado un importante crecimiento y se espera que siga expandiéndose en el futuro cercano. De acuerdo

con un informe de MarketsandMarkets, se prevé que el mercado de la impresión 3D de metal crezca a una tasa compuesta anual del 26,1% entre 2020 y 2025.

Actualmente, se utiliza en diversas industrias, incluyendo la aeroespacial, automotriz, médica y de defensa, y se espera que continúe transformando estas y otras industrias en el futuro, ofreciendo ventajas como una mayor eficiencia en la producción, reducción de costos y tiempos de espera, y la capacidad de crear piezas personalizadas y complejas.

En la industria aeroespacial, la fabricación aditiva de metal se utiliza para producir piezas ligeras y resistentes capaces de soportar condiciones extremas. En la industria automotriz, se utiliza para crear prototipos y piezas personalizadas, lo que permite a los fabricantes adaptarse a la demanda de los consumidores de manera más rápida y eficiente. (Hopkinson N, Hague R, Dickens P., 2006). (T. Wohlers, 2013).

En la industria médica, la fabricación aditiva de metal se utiliza para crear prótesis personalizadas y dispositivos médicos, lo que permite una atención más personalizada y eficaz a los pacientes.

Finalmente, la fabricación aditiva de metal también se está utilizando cada vez más en la industria de la defensa, donde se está explorando la posibilidad de producir piezas de repuesto y equipos críticos en el campo de batalla mediante el uso de láseres 3D móviles, lo que puede mejorar la capacidad de respuesta y adaptabilidad de las fuerzas militares ante situaciones imprevistas.

Por ejemplo, en 2016, la Marina de los Estados Unidos implementó un programa para utilizar la fabricación aditiva de metal en la producción de piezas de repuesto para aviones. Esta iniciativa se enfocó en el uso de impresoras 3D móviles a bordo de portaaviones para producir piezas de repuesto en el momento y lugar en que se necesitan. Este enfoque permitió una mayor eficiencia en la producción de piezas y redujo significativamente los costos y tiempos de espera asociados con la producción y el envío de piezas desde la costa.

Asimismo, la fabricación aditiva de metal también se está utilizando para la producción de equipos críticos, como piezas de motores y componentes estructurales de aeronaves. Por ejemplo, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos está explorando el uso de la fabricación aditiva de metal para la producción de piezas de motores de aviones, lo que podría reducir los costos y mejorar la disponibilidad de piezas de repuesto críticas. El uso de la fabricación aditiva de metal para la producción de equipos críticos también puede reducir el tiempo de

producción y el costo de las piezas en comparación con los métodos tradicionales, lo que podría ser beneficioso en situaciones de emergencia. En general, la fabricación aditiva de metal ofrece grandes oportunidades para mejorar la eficiencia y efectividad de las fuerzas militares.

Aunque la fabricación aditiva presenta numerosas ventajas, también conlleva ciertos desafíos. Uno de los principales desafíos es la limitación en cuanto al tamaño y al material de las piezas que pueden ser impresas. A pesar de que las impresoras 3D más comunes pueden imprimir piezas de varios metros, la mayoría de las piezas impresas son relativamente pequeñas.

Otro desafío es la calidad y la consistencia de las piezas impresas. Aunque la tecnología ha mejorado significativamente en los últimos años, la calidad y la consistencia de las piezas impresas a menudo dependen de factores como el diseño de la pieza, el material utilizado y la configuración de la impresora. Por tanto, es importante poseer un conocimiento detallado de los procesos y materiales empleados para lograr los mejores resultados.

Además, la fabricación aditiva puede resultar más costosa que la fabricación convencional, especialmente para grandes volúmenes de producción. Esto se debe a que los materiales utilizados en la fabricación aditiva suelen ser más costosos y la velocidad de producción es generalmente más lenta que la fabricación en masa.

No obstante, la fabricación aditiva sigue siendo una tecnología prometedora y en constante evolución. A medida que se abordan estos desafíos, se espera que la tecnología continúe expandiéndose y tenga un impacto aún mayor en una amplia gama de industrias.

9.3 Desarrollo nacional

En los últimos años, el sector de la fabricación aditiva de metal en España ha experimentado un aumento significativo. Según el informe "La Fabricación Aditiva en España 2020" de la firma de consultoría PwC, el sector de la fabricación aditiva ha experimentado un crecimiento constante del 23% anual entre 2015 y 2019. Este crecimiento se prevé que continúe en los próximos años debido a la creciente demanda de piezas personalizadas y de alta precisión en diversas industrias.

En España, se encuentran diversas empresas destacadas en el ámbito de la fabricación aditiva de metal, que brindan soluciones para una amplia variedad de aplicaciones y sectores:

Entre ellas, **se destaca ADDILAN**, una compañía fundada en 2016 y establecida en el País Vasco, que se ha especializado en la fabricación aditiva de piezas de metal mediante la utilización de la tecnología avanzada WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing o fabricación aditiva por arco e hilo). ADDILAN ha desarrollado una amplia gama de soluciones para sectores como la aeronáutica, la automoción y la energía. Además de ser líder en la fabricación aditiva de metal en España, la empresa ha ganado reconocimiento internacional gracias a su experiencia y capacidad para brindar soluciones innovadoras y personalizadas a sus clientes.

La tecnología WAAM empleada es una de las técnicas más avanzadas de fabricación aditiva de metal, que utiliza un arco eléctrico para fundir un alambre de metal mientras se deposita capa por capa para crear una pieza tridimensional. Esta técnica permite la fabricación de piezas de gran tamaño, alta precisión y resistencia mecánica, lo que la hace atractiva para diversos sectores.

ADDILAN ha trabajado en numerosos proyectos destacados, como la fabricación de piezas para el avión supersónico XB-1 de Boom Supersonic, y ha establecido colaboraciones con importantes empresas y organizaciones, como la Fundación Iberdrola España y la Universidad del País Vasco. La empresa ha realizado inversiones en la adquisición de maquinaria y equipos de última generación para mejorar su capacidad de producción y continuar desarrollando soluciones innovadoras para sus clientes. Asimismo, ha establecido alianzas estratégicas con otras empresas y organizaciones para fortalecer su presencia en el mercado global de la fabricación aditiva de metal.

Además de la anterior empresa, hay varias empresas líderes en la fabricación aditiva de metal que ofrecen soluciones para diferentes sectores. **La empresa vasca LORTEK** es una de ellas, especializada en la tecnología WAAM y enfocada en la aeronáutica, la defensa y la energía.

RENISHAW IBÉRICA, con sede en Cataluña, filial de la multinacional británica RENISHAW, es otra empresa destacada que utiliza la tecnología de fusión láser selectiva (SLM) para producir piezas de metal para la industria aeroespacial, médica y dental, y la tecnología de deposición láser de metal (LMD).

La demanda de piezas personalizadas y de alta precisión en España está impulsando la fabricación aditiva en la industria dental. **IDONIAL**, con sede en Asturias, ha desarrollado

soluciones para la fabricación de prótesis dentales utilizando la tecnología de impresión 3D. Además, FICEP 3D Printing se centra en la fabricación de moldes y piezas para la industria de la joyería con la tecnología de fusión selectiva por láser (SLS).

Y por último, distinguir a **MELTIO**, una empresa de Linares, que a pesar de ser una PYME de reciente creación, está brillando nacional e internacionalmente con su proyecto Engine, integración del láser en robot, que persigue poner a disposición de la industria un entorno de FA en metal robotizada, que optimice la efectividad de sus procesos y facilite la transición a la industria 4.0, a partir de un robot escalable y adaptable a las especificaciones de la aplicación final por AM con un cabezal de gran eficiencia y precisión. Presenta como innovación tecnológica principal, el desarrollo de un sistema de alimentación portátil de fabricación aditiva metálica con cabezal integrable en dispositivos de movimiento lineales o de movimiento en varios ejes tales como robots, CNC's... etc. Además, pretenden que este sistema de alimentación portátil, pueda ser integrable en sistemas robóticos o de mecanizado que ya posee la industria, lo que presenta dos alternativas viables, la reconversión de tecnología obsoleta o en desuso, fomentando el proceso de economía circular, y la modernización/digitalización de la tecnología existente y que actualmente posee la industria.

A partir del desarrollo de la célula Engine están surgiendo numerosos proyectos como por ejemplo el de la empresa DPR en Barcelona, que va a llevar esta tecnología de Meltio a su aplicación industrial.

En España, existen centros de investigación y desarrollo que se dedican a la fabricación aditiva, como por ejemplo los que se presentan a continuación:

El Instituto de Tecnología de la Soldadura (ITS) y el Centro Tecnológico AIMEN. El ITS, ubicado en el País Vasco, es un centro especializado en tecnologías de soldadura y cuenta con un departamento dedicado a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para la fabricación aditiva de metales mediante arco e hilo (WAAM). Además, también ofrece formación en esta tecnología para expertos.

Por otro lado, el Centro Tecnológico AIMEN, situado en Galicia, dispone de un departamento que se centra en la fabricación aditiva de metales y ofrece servicios de asesoramiento, diseño y producción de piezas mediante diferentes técnicas, como la tecnología de fusión láser selectiva (SLM), la deposición directa de energía por láser (DED) y la WAAM. Ambos centros colaboran con empresas y organizaciones en proyectos de

investigación y desarrollo en la fabricación aditiva de metales, lo que ayuda a impulsar la innovación y el avance en este campo en España. Asimismo, también proporcionan servicios de formación y capacitación en tecnologías de fabricación aditiva, lo que contribuye a mejorar la capacidad y el talento de la industria española en este ámbito.

El gobierno español ha mostrado su apoyo al sector de la fabricación aditiva de metales mediante la asignación de fondos para financiar proyectos de investigación y desarrollo, y la promoción de la tecnología en diferentes sectores y aplicaciones. Ya en 2020, se puso en marcha el Programa de Impulso a la Fabricación Avanzada con el objetivo de fomentar la adopción de tecnologías avanzadas de fabricación, entre las que se incluye la fabricación aditiva.

En el sector de la salud en España, la fabricación aditiva está ganando relevancia debido a la capacidad de producir prótesis e implantes personalizados con mayor rapidez y a un menor costo que los métodos de fabricación tradicionales. Diversas empresas y centros de investigación en España están trabajando en el desarrollo de soluciones innovadoras en esta área, como la fabricación de implantes de titanio mediante la tecnología de fusión láser selectiva.

Además, la construcción también está experimentando un creciente interés en la fabricación aditiva de metal. Se están llevando a cabo proyectos de investigación y desarrollo en la aplicación de la tecnología para la construcción de estructuras complejas y la fabricación de componentes para edificios inteligentes y sostenibles.

En el ámbito nacional, el aprendizaje y la preparación en la fabricación aditiva de metal se han vuelto cada vez más importantes debido al aumento del interés y la demanda por parte de los profesionales en este campo. Hay varias opciones de formación disponibles, como programas de grado y posgrado en ingeniería de materiales, diseño industrial, ingeniería mecánica y otras disciplinas relacionadas, que incorporan módulos de fabricación aditiva de metal. (Gato, A.; Bassoli, E.; Denti, L.; Juliano, L.; Minetola, P., 2015).

Adicionalmente, algunos centros de formación técnica y escuelas de negocios ofrecen cursos especializados en fabricación aditiva de metal, tanto en formato presencial como en línea, dirigidos a profesionales del sector industrial que buscan actualizar y mejorar sus habilidades en esta tecnología.

Por otro lado, varias universidades españolas y prestigiosos centros de investigación,

como el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB), la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), ofrecen programas de investigación y doctorado en la fabricación aditiva de metal y sus aplicaciones en áreas como la medicina, la aeronáutica, la automoción y la construcción, y que trabajan en la mejora de las técnicas y materiales utilizados en estos sectores.

La capacitación y formación en la fabricación aditiva de metal es crucial para el progreso y la innovación en este campo, y España cuenta con una amplia gama de opciones de formación e investigación para satisfacer las necesidades de la industria y formar a los próximos profesionales en esta tecnología.

En conclusión, el sector de la fabricación aditiva de metal en España se encuentra en una etapa de desarrollo y expansión, con numerosas empresas y centros de investigación dedicados a su progreso. Asimismo, el gobierno español está respaldando de forma activa el avance de esta tecnología en distintos sectores industriales. (Wöhlers, T.; Caffrey, T., 2017).

La FA de metal se encuentra en constante evolución y tiene un gran potencial en diversas áreas industriales. Esta tecnología permite la producción de piezas con una alta precisión y calidad, en un tiempo y coste reducido en comparación con los métodos tradicionales de fabricación. Esto se traduce en una mayor eficiencia en la producción, una reducción de los costes y una mayor capacidad para personalizar las piezas.

Además, la fabricación aditiva de metal también ofrece ventajas en términos de sostenibilidad, ya que reduce la cantidad de material desperdiciado en el proceso de producción y disminuye la huella de carbono asociada a la fabricación de piezas.

En este contexto, se espera que el sector de la fabricación aditiva de metal siga creciendo en España y en todo el mundo en los próximos años. Se espera que la tecnología avance aún más, lo que permitirá una mayor diversidad de materiales, una mayor velocidad de producción y una mayor precisión en la producción de piezas complejas.

10. Conclusiones

La fabricación aditiva ha experimentado un gran desarrollo, expansión y aumento de facturación a partir de 2009, en 2020, las cifras estimadas indican que se generaron ingresos por un valor de 3,1 billones de dólares. De acuerdo con un informe de MarketsandMarkets, se prevé que el mercado de la impresión 3D de metal crezca a una tasa compuesta anual del

26,1% entre 2020 y 2025. Según el CSIC, Europa podría convertirse en el motor mundial de la FA.

Con la llegada de la tecnología de FA por láser e hilo metálico (LMD), se abre un potencial campo de desarrollo tecnológico que ayudará a la FA metálica a dar el salto cualitativo que necesita para conseguir su implementación en la manufactura de serie o de volumen. Esta tecnología en constante evolución, está transformando los procesos de manufactura en diferentes sectores de la economía, generando oportunidades de crecimiento y de innovación.

En España existen varias empresas que han apostado fuertemente por la FA y han desarrollado innovadoras tecnologías en este campo, éstas, se han especializado en la creación de láseres y células de FA adaptadas a las necesidades de la industria 4.0 y algunas de ellas, han creado alianzas estratégicas con otras empresas, con centros de investigación y con universidades, para compartir conocimientos, desarrollar nuevas soluciones y ampliar la gama de materiales disponibles.

Con la FA se consigue reducir los residuos, las emisiones tóxicas, el consumo de energía y además, permite el uso de materiales reciclables y biodegradables, lo que la convierte en un modelo de producción más sostenible frente a los procesos de fabricación tradicionales. Por ello, la FA puede contribuir a dar solución a algunos de los principales problemas medioambientales y por ende, a la consecución de los ODS 7, 11 y 12.

La impresión 3D tiene varios objetivos importantes que se espera lograr en el futuro tales como:

1. Mejorar las capacidades de impresión 3D para permitir la fabricación de piezas más grandes, más complejas y de mayor calidad. Esto implica desarrollar tecnologías avanzadas, como la impresión a escala industrial, la impresión en múltiples materiales y la incorporación de funciones adicionales, como la electrónica impresa y la integración de sensores.
2. Reducir los costos para hacerla más accesible y rentable para una amplia gama de aplicaciones. Esto puede lograrse a través de la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia energética, la reducción de desperdicios de material y la implementación de métodos de producción más económicos.

3. Ampliar la gama de materiales, incluyendo metales, polímeros y materiales compuestos avanzados. Éstos deben tener propiedades mecánicas, térmicas y químicas superiores que permitan la impresión de componentes de alta calidad para aplicaciones exigentes, como las industrias aeroespacial, médica, etc.
4. Integrar la FA en los procesos de producción existentes y crear soluciones híbridas por ejemplo para el mecanizado y la fundición. Esto puede permitir una mayor flexibilidad de diseño, una personalización más fácil y una producción más eficiente.
5. Llevar la impresión 3D a una escala mayor que permita la fabricación de estructuras de gran tamaño, como edificios y puentes. Esta aplicación de la fabricación aditiva en la construcción civil tiene el potencial de reducir los costos, mejorar la eficiencia y facilitar la creación de estructuras arquitectónicamente complejas.
6. Avanzar en la impresión 3D de tejidos y órganos humanos funcionales. Esto podría revolucionar los trasplantes y tratamientos médicos al proporcionar soluciones personalizadas y a medida para pacientes, eliminando la espera de donantes compatibles.
7. Optimizar los tiempos de impresión, Se espera desarrollar técnicas y tecnologías que permitan reducir significativamente el tiempo de impresión, mejorando así la eficiencia y la productividad.
8. Desarrollar sistemas de control y monitoreo avanzados, que detecten y corrijan posibles defectos o desviaciones durante la impresión para garantizar la calidad final del producto.
9. Desarrollar métodos y técnicas para mejorar aún más la sostenibilidad de la fabricación aditiva y promover el reciclaje de materiales.
10. Integrar la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Esto tiene un gran potencial, se espera aprovechar estas tecnologías para optimizar los diseños, los procesos de impresión, la inspección de calidad y la planificación de la producción, mejorando así la eficiencia y la precisión en toda la cadena de fabricación.
11. Desarrollar técnicas que permitan la producción en masa de productos personalizados.
12. Desarrollar estándares y normas para garantizar la calidad, la seguridad y la interoperabilidad de los productos impresos en 3D.
13. Diversificar las aplicaciones de la FA de metal. Actualmente se utiliza principalmente para la producción de piezas para la industria aeroespacial y automotriz, pero ya se está trabajando en soluciones para su aplicación en otros sectores como el de la joyería

y la medicina y se espera que en el futuro se desarrolle la tecnología para aplicarla en otros sectores.

La aplicación de la política industrial y tecnológica al sector de la FA está beneficiando su desarrollo y expansión. A través de la implementación de estrategias de apoyo tales como incentivos financieros, programas de formación y capacitación, y la promoción de la investigación y el desarrollo, se puede fomentar la innovación en esta industria y mejorar la competitividad a nivel mundial.

El apoyo gubernamental puede ayudar a garantizar que la FA se integre completamente en los procesos de producción y que se convierta en una herramienta de fabricación estándar en muchos sectores industriales. Esto no solo impulsaría este sector en sí, sino que también tendría un efecto positivo en la economía en general, al aumentar la productividad, reducir los plazos de producción y mejorar la calidad de los productos manufacturados.

En resumen, la fabricación aditiva supone un salto tecnológico e innovador en los sistemas de producción, y la política industrial y tecnológica puede tener un impacto significativo en el avance del sector, si se aplican con éxito las estrategias de apoyo, se impulsará la adopción de esta tecnología en todo el mundo y se transformará el modo en que se fabrican los productos

11. Bibliografía

Aliakbari M. “Aplicaciones, oportunidades, producción en masa.” Fabricación aditiva: vanguardia, capacidades y aplicaciones de muestra con análisis de costos., 2012. Accessed 2023.

Attaran, M. “Ventajas sobre métodos tradicionales.” Las ventajas de la fabricación aditiva sobre la fabricación tradicional, 2017, pp. 677-688. Accessed 2023.

Barakh Ali, SF; Mohamed, EM; Ozkan, T.; Kuttolamadam, MA; Kan, MA; Asadi, A.; Rahman, Z. Comprensión de los efectos de la formulación y las variables del proceso en la calidad de las impresiones fabricadas mediante impresión 3D de sinterización selectiva por láser. 2019.

Birchnell, T.; Urry, J. “Producción Local.” Fabricación de futuros y el movimiento de objetos., 2012, 8 , 388–405. Accessed 2023.

Bogers, M.; Hadar, R.; Bilberg,. “Cadenas de suministro.” Fabricación aditiva para modelos comerciales centrados en el consumidor: implicaciones para las cadenas de suministro en la fabricación de bienes de consumo., Tecnología Pronóstico. Soc. Chang, 2016, 102 , 225–239. Accessed 2023.

Bourell, DL; Rosen, DW; Leu, MC. “Impacto.” La hoja de ruta para la fabricación aditiva y su impacto. Impresión 3D., 2014, 1 , 6–9. Accessed 2023.

Campbell, T.; Williams, C.; Ivanova, O.; Garret, B. ¿Podría la impresión 3D cambiar el mundo? tecnologías, potencial e implicaciones de la fabricación aditiva, 2011. Accessed 2023.

“CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES METALURGICAS | Consejo.” Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
<https://www.csic.es/es/investigacion/institutos-centros-y-unidades/centro-nacional-de-investigaciones-metalurgicas>. Accessed 2023.

Consejo Atlántico: Washington, DC, EE. UU. ¿Podría la impresión 3D cambiar el mundo? tecnologías, potencial e implicaciones de la fabricación aditiva. 2011.

CSIC. “Reindustrializar la España vaciada con impresión 3D |.” Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 30 September 2020,
<https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/reindustrializar-la-espana-vaciada-con-impresion-3d>. Accessed 24 May 2023.

Diegel O, Singamneni S, Reay S, Withell A. Herramientas para el diseño de productos sostenibles: fabricación aditiva., 2010.

Ellis DE, Hadley PW. Libro blanco de remediación sostenible: integración de principios, prácticas y métricas sostenibles en proyectos de remediación. 2009. Accessed 2023.

Ellis DE, Hadley PW. “Problemáticas, acciones.” Libro blanco de remediación sostenible: integración de principios, prácticas y métricas sostenibles en proyectos de remediación., 2009, pp. 5-114. Accessed 2023.

Ford, S.; Despeisse, M. “Sostenibilidad.” Fabricación aditiva y sostenibilidad: un estudio exploratorio de las ventajas y desafíos., 2016, 137 , 1573–1587. Accessed 2023.

Frazier, WE. “Productos personalizados, bajo costo.” Fabricación aditiva de metal: una revisión, 2014, 23 , 1917–1928. Accessed 2023.

Gamez, Maria Jose. Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible, 24 May 2022, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. Accessed 2023.

Gato, A.; Bassoli, E.; Denti, L.; Juliano, L.; Minetola, P. “Formación.” Enfoque multidisciplinario en la educación en ingeniería: aprendizaje con fabricación aditiva e ingeniería inversa., 2015, 21 , 598–603. Accessed 2023.

Gibson, I.; Rosen, DW; Stucker, B. “Tecnologías de fabricación aditiva: creación rápida de prototipos para fabricación digital directa.” Capa por capa, 2010. Accessed 2023.

“Guía completa: Deposición de energía directa.” 3Dnatives, 10 September 2019, <https://www.3dnatives.com/es/guia-deposicion-de-energia-directa-100920192/>.

Hao L, Raymond D, Strano G, Dadbakhsh S. “Mejora de la sostenibilidad de la fabricación aditiva.” diseño sostenible, estructuras ligeras internas, 2010.

Hopkinson N, Hague R, Dickens P. Fabricación rápida: una revolución industrial para la era digital. Fabricación rápida: una revolución industrial para la era digital. John Wiley e hijos. 2006. Accessed 2023.

Hornick, J.; Roland, D. “Pensamientos Iniciales. Licencias. J.” Impresión 3D y Propiedad Intelectual:, 2013. Accessed 2023.

Huang, R.; Riddle, M.; Graziano, D.; Warren, J.; Das, S.; Nimbalkar, S.; Cresko, J.; Masanet, E. Potencial de ahorro de energía y emisiones de la fabricación aditiva: el caso de los componentes de aeronaves ligeras. J. Limpio. 2016.

Huang, S.; Liu, P.; Mokasdar, A.; Hou, L. “Fabricación Tecnología. Impactos sociales.” La fabricación aditiva y su impacto social: una revisión de la literatura., 2013, pp. 1191–1203. Accessed 2023.

ICEX España Exportación e Inversiones. Estudio de mercado de la Fabricación Aditiva en Alemania.

“Impresoras 3D de Fusión selectiva por láser (SLM).” ComprarImpresoras-3D.com!, <https://comprarimpresoras-3d.com/tipo/slm/>.

K. Cooper. Rapid Prototyping Technology. 2001.

- Khorram Niaki, M.; Nonino, F. “Istrar 2014 , 57 , 35–42.-> derechos de porp intelectual
Khorram Niaki, M.; Nonino, F. Impacto de la fabricación aditiva en la competitividad empresarial: Un estudio de caso múltiple.” Competitividad empresarial, 2017. Accessed 2023.
- Kohtala, C.; Hyysalo, S. Sostenibilidad ambiental anticipada de la fabricación personal. 2015.
- Kurfess, T.; Cass, WJ. “Repensar la fabricación aditiva y la protección de la propiedad intelectual.” Propiedad Intelectual, 2014, 57 , 35–42. Accessed 2023.
- “La Transformación Digital de la Industria Española.” Industria Conectada 4.0, 23 July 2015, <https://www.industriaconectada40.gob.es/SiteCollectionDocuments/informe-industria-conecta-da40.pdf>. Accessed 2023.
- L. Ciocca, M. Fantini, F. De Crescenzo, G. Corinaldesi, R. Scott,. “Medical and Biological Engineering and Computing.” Direct metal laser sintering (DMLS) of a customized titanium mesh for prosthetically guided bone regeneration of atrophic maxillary arches,, 2011.
- L.S. Bertol, W.K. Júnior, F.P. da Silva, C.A. Kopp,. “Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V.” Materials and Design, 2010.
- Marcus, Alfred. Strategic Foresight: A New Look at Scenarios. Palgrave Macmillan, 2009. Accessed 2023.
- Mercelis P, Froyen L, Rombouts M. Mecanismos de unión en sinterización selectiva por láser y mecanismos de unión por fusión selectiva por láser en sinterización selectiva por láser y fusión selectiva por láser. 2005.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. “Industria Conectada 4.0 - Estrategia Nacional IC 4.0.” Industria Conectada 4.0, <https://www.industriaconectada40.gob.es/estrategias-informes/estrategia-nacional-IC40/Paginas/descripcion-estrategia-IC40.aspx>. Accessed 2023.
- “Multi-material Metal 3D Printing.” Meltio, <https://meltio3d.com/materials/>. Accessed 2023.
- Nueva tecnología de fusión por haz de electrones | Material de fabricación aditiva, <https://am-material.com/es/ebm-technology/>.
- “Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (PEICTI) 2021-2023.” Ministerio de Ciencia e Innovación, <https://www.ciencia.gob.es/Estrategias-y-Planes/Planes-y-programas/PEICTI.html>. Accessed 2023.
- R. Noorani,. “Principles and Applications, John Wiley & Son.” Rapid Prototyping, 2006.
- Scott J, Gupta N, Weber C, Newsome S, Wohlers T, Caffrey T. “Proceso de fabricación.” Fabricación aditiva: Estado y oportunidades., 2012, pp. 1-29.
- “Sinterizado selectivo por láser.” Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Sinterizado_selectivo_por_l%C3%A1ser.

Technology, Media, and telecommunications predictions. Deloitte Insights. 2019.

T. Wohlers. “Informe Wohlers.” fabricación aditiva e impresión 3D Estado de la industria: Informe anual de progreso mundial., 2013.

Wang ZL, Li JZ, Kong XX, Xiao JJ. The applications of 3D printing in medicine. Chian Maternity and Genetic 04:40–50 -> Medicina. 2014.

Wöhlers, T.; Caffrey, T. “Informe 2017.” Estado de la industria de la impresión 3D y la fabricación aditiva: informe anual de progreso mundial., 2017. Accessed 2023.

Wohlers TT. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report -> Aeroespacial. 2013.

Wong KV, Hernandez A. Una revisión de la fabricación aditiva. ISRN Ing. Mec., 2012. Accessed 2023.

Yu QF. Additive manufacturing-the formal designation of 3D printing. China Terminology 4:017-> Medicina. 2013.
