



## 2.4 FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva, a menudo y de forma simplificada más conocida como impresión 3D, es un conjunto de procesos para construir objetos físicos capa a capa y de forma controlada. El punto de partida de este proceso es casi siempre un modelo digital tridimensional diseñado por ordenador (un archivo CAD, por ejemplo, en formato .STL, .OBJ o .STEP). Esta tecnología, desde la aparición de las primeras patentes a finales del siglo XX (sobre todo en la década de 1980), ha supuesto una revolución progresiva en diferentes sectores, transformando el modo de diseñar productos, desarrollar prototipos, crear herramientas y, cada vez más, producir piezas funcionales en directo. Su principio fundamental es añadir material, sólo donde es necesario y en la cantidad necesaria, no quitarlo o producir sobrantes para darle forma, de ahí su nombre descriptivo.

### Diferentes formas de fabricación

Para comprender mejor la singularidad de la fabricación aditiva, es imprescindible compararla con otras formas principales de fabricación habituales en la industria, ya que cada una tiene su filosofía y su ámbito de aplicación:

**Fabricación Formativa:** Este método consiste en dar a un material (por ejemplo, metal fundido, plástico-gránulas o una lámina metálica) una forma específica, aplicando a menudo grandes fuerzas mecánicas, altas presiones o cambios de temperatura controlados. Estos procesos utilizan moldes, troqueles o matrices para "forzar" al material la geometría deseada. Ejemplos claros son la forja (dar forma golpeando el metal), la estampación (cortar y conformar láminas metálicas con troqueles), el moldeo por inyección (inyectar plástico fundido a un molde a presión) o la fundición (verter metal fundido a un molde). Normalmente son muy eficaces para grandes series, pero la inversión inicial suele ser elevada en herramientas (moldes, etc.).

**Fabricación Sustractiva** En este caso, el material se retira progresivamente de un bloque sólido inicial (madera, metal, plástico, etc.) hasta conseguir la pieza deseada. Son procesos clásicos el torneado (la pieza gira y la herramienta fija retira el material), el fresado (la herramienta rotativa quita material a una pieza fija) o el rectificado (para acabados de alta precisión). Se puede conseguir una gran precisión, pero los restos de material pueden ser notables y algunas geometrías son difíciles o imposibles de obtener.

**Fabricación Aditiva:** Frente a los anteriores, este método no moldea ni elimina el material, sino que lo añade capa a capa, normalmente de abajo a arriba, siguiendo exactamente el diseño digital, hasta que se construye la pieza final. Cada proceso utiliza materiales en diferentes estados (polvo, líquido, hilo) y diferentes fuentes de energía (láser, luz, calor) para interconectar las capas.

### Principales ventajas de la fabricación aditiva



Esta tecnología ofrece una serie de ventajas frente a otros métodos tradicionales, haciéndola muy atractiva para muchas aplicaciones:

- **Personalización:** La fabricación aditiva permite crear piezas únicas o series muy pequeñas de forma eficiente y económicamente viable. Un pequeño cambio en el diseño influye poco en el proceso de fabricación o en los costes, ya que no es necesario cambiar moldes o herramientas caras o crear nuevas. En la mayoría de los casos basta con modificar el diseño digital (fichero .CAD). Esto supone una oportunidad única para adaptar los productos a las necesidades concretas de cada cliente.
- **Piezas optimizadas:** Junto con el software de diseño avanzado, como el diseño generativo (en el que el software propone diferentes opciones de diseño bajo una serie de condiciones) o la optimización topológica (en la que el software retira el material de las áreas no críticas de la pieza, dejando sólo lo necesario para soportar los esfuerzos), se puede reducir considerablemente el peso de las piezas, manteniendo su resistencia y funcionalidad o, en algunos casos, mejorando sus características. Esto es especialmente importante en sectores como la aeronáutica, la automoción o el equipamiento deportivo, donde la reducción del peso repercute directamente en el rendimiento y el consumo de combustible.
- **Libertad de diseño:** La fabricación aditiva permite crear geometrías muy complejas, incluyendo estructuras internas complicadas (estructuras de red o "*lattice structures*"), huecos o formas biomiméticas. Con los métodos tradicionales, conseguir estas piezas sería muy difícil, costoso o directamente imposible. Con la fabricación aditiva, la complejidad geométrica no tiene por qué aumentar el coste, ya que los principales factores son el volumen de la pieza, el material y el tiempo de fabricación.
- **Reducción y sostenibilidad de los residuos materiales:** Debido a que el material solo se añade en el lugar necesario y en la cantidad exacta, los residuos de material que se generan en el proceso de fabricación disminuyen considerablemente con respecto a la fabricación desechable, donde desde el bloque inicial muchos materiales se convierten en virutas. Esto no solo afecta a los costes, sino que también puede afectar a la sostenibilidad, ya que permite un uso más eficiente de los materiales. Sin embargo, hay que tener en cuenta todo el ciclo para hacer un análisis de sostenibilidad, como la producción de filamentos, la producción de máquinas y la reciclabilidad de los excedentes que se generan.
- **Digitalización integral y optimización del valor de cadena:** El hecho de que todo el proceso sea digital (del diseño a la producción) conlleva muchas ventajas:
  - Almacenamiento digital y producción "*Just-in-Time*": Las piezas pueden almacenarse en formato digital (almacenes virtuales o "*digital warehouses*") e imprimirse solo cuando sea necesario, minimizando la necesidad de stock físico y los costes de almacenamiento y logística asociados. No hay necesidad mínima de tirada, facilitando el "*on-demand manufacturing*".



- Reducción de tiempo del diseño a la fabricación (*Time-to-Market*): El tiempo para obtener una pieza física de un diseño puede ser muy corto, en el caso de los prototipos muchas veces de un día para otro. Esto acelera enormemente los ciclos de desarrollo de los productos.
- Iteración y mejoras rápidas: Si se quieren realizar cambios en las piezas fabricadas, se pueden realizar adaptaciones en el diseño digital e imprimir casi inmediatamente una nueva versión. Esto permite ciclos rápidos de iteración del diseño, mejorando el producto y detectando errores de forma precoz.

## Ámbito de aplicación de la fabricación aditiva

La fabricación aditiva ha encontrado múltiples aplicaciones prácticas en diferentes áreas gracias a su versatilidad y ventajas:

- **Producto final y series cortas:** Cada vez se utiliza más para crear las piezas que van a ser comercializadas o utilizadas directamente, sobre todo a medida que mejoran la precisión de las tecnologías, el acabado y las propiedades mecánicas de los materiales.
- **Prototipado rápido y funcional:** Muy utilizado en la creación de prototipos reales y funcionales para la valoración rápida de ideas, conceptos y diseños. Esto permite a las empresas reducir el tiempo de comercialización y optimizar los costes de desarrollo, corrigiendo errores antes de pasar a la producción masiva en serie.
- **Equipos específicos, utillaje y moldes:** Se utiliza para crear herramientas personalizadas para líneas de producción, guías, fijadores, ayudas de ensamblaje o moldes para inyección con canales de refrigeración conformales.
- **Educación e investigación:** Brinda a estudiantes e investigadores la oportunidad de experimentar de forma tangible conceptos abstractos (matemáticos, físicos, biológicos) y materializar rápidamente diseños complejos, fomentando la creatividad y la innovación.

## Principales sectores de fabricación aditiva

En cuanto a los principales sectores, la fabricación aditiva se ha extendido especialmente y está generando un gran valor añadido:

- **Automoción y aeronáutica/aeroespacial:** Para crear piezas más ligeras y de alto rendimiento (por ejemplo, componentes de motores, estructuras de drones), mejorando el rendimiento, reduciendo el consumo de combustible y aumentando el grado de personalización. La fabricación de repuestos también está cobrando importancia.
- **Sanidad y medicina:** Implantes personalizados (dentales, óseos, placas craneales), prótesis avanzadas, guías quirúrgicas (para aumentar la precisión de las intervenciones), modelos anatómicos para la planificación y preparación de cirugías, así como investigación para la bioimpresión de tejidos y órganos.



- **Centros educativos y de investigación:** Las ventajas mencionadas le han permitido convertirse en una herramienta imprescindible para enriquecer el proceso de aprendizaje y desarrollar proyectos de investigación innovadores.
- **Productos de consumo y diseño:** Joyería, calzado personalizado, molduras de gafas, componentes específicos de electrodomésticos, arte y otros productos personalizados o de diseño complejo.

## Crecimiento del mercado y madurez tecnológica

El mercado de la fabricación aditiva ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Tras el inicial "boom" o cierta fascinación tecnológica, en el que las expectativas a veces superaban la realidad, la tecnología está entrando en un proceso de estabilización y madurez tecnológica. Esto significa que las empresas cada vez entienden mejor las capacidades reales y los límites de estas tecnologías y se están centrando en aplicaciones rentables y de alto valor añadido.

## Tecnologías más significativas de fabricación aditiva

Bajo el paraguas de fabricación aditiva existen muchas tecnologías diferentes, cada una con sus principios de trabajo, materiales compatibles, características de proceso y aplicaciones específicas. A continuación vamos a profundizar en algunas de las tecnologías más utilizadas en la industria y la investigación:

### **FDM (*Fused Deposition Modeling*) / Extrusión de Materiales:**

Es la tecnología más extendida y probablemente la más popular, sobre todo por su presencia en impresoras de escritorio de bajo coste. Un material termoplástico (PLA ecológico, ABS resistente, PETG flexible, nylon técnico, o materiales composites provistos de fibra de carbono o de vidrio), generalmente en forma de filamento, se hace pasar por un extrusor caliente. El extrusor funde el material y lo deposita por una pequeña boquilla capa a capa sobre la plataforma constructiva, construyendo la pieza.

Ventajas: Costes operativos y materiales relativamente bajos, una amplia gama de materiales (en termoplásticos), facilidad relativa de uso y mantenimiento.

Desventajas: La precisión dimensional y el acabado superficial pueden ser más limitados en comparación con otras tecnologías (la unión entre capas es frecuentemente visible), requiere generalmente de soportes (para sujetar las partes que quedan en el aire de la pieza, llamadas "overhang" o aletas; estos soportes deben ser retirados posteriormente, a veces con un material soluble especial).

### **SLA (*Stereolithography Apparatus*) / Tanque de Resinas Fotopolimerizables (*Vat Photopolymerization*):**



En este proceso se utiliza un tanque con una resina fotopolimérica líquida. Una fuente de luz (normalmente un láser ultravioleta (UV) o un proyector DLP (*Digital Light Processing*) que proyecta toda la capa a la vez endurece selectivamente la resina (polimeriza) capa a capa. La plataforma constructiva sube o baja progresivamente sumergida en resina líquida.

Ventajas: Gran precisión dimensional, acabado superficial muy suave, excelente capacidad para obtener detalles muy finos (joyas, piezas dentales).

Desventajas: Los materiales (resinas) suelen ser más caros y tóxicos en la manipulación que los de FDM, requiere un post-proceso obligatorio y preciso, la pieza debe limpiarse de la resina sobrante, muchas veces con alcohol isopropílico (IPA), y después debe ser introducida en una cámara especial de curado o curado completo con luz aditiva (UV), necesita generalmente soportes.

### **MJF (*Multi Jet Fusion*) y SLS (*Selective Laser Sintering*) / Fusión Cama de Polvo (*Powder Bed Fusion - Polymers*):**

Ambas tecnologías funcionan a partir de plástico en polvo (normalmente poliamida/nylon, PA11, PA12, o TPU flexible) y producen las piezas dentro de un lecho de polvo, pero el proceso de fusión y los detalles son diferentes:

**SLS** (Sinterización Selectiva por Láser): Un láser potente sinteriza selectivamente las partículas de polvo (fusionándolas a alta temperatura, pero sin llegar del todo al punto de fusión del material, uniendo las partículas entre sí), capa a capa. Una vez sinterizada cada capa, la plataforma baja ligeramente y se extiende sobre ella una nueva capa de polvo.

**MJF** (*Multi Jet Fusion* - Tecnología de HP): Proceso en el que un cabezal de impresora deposita selectivamente un agente detector y un agente fusionador sobre el lecho de polvo. A continuación, una fuente de energía (lámparas infrarrojas) fusiona estos campos.

Ventajas: Piezas funcionales y muy resistentes (cerca de propiedades mecánicas isotrópicas en el caso de MJF), no requieren estructura de soporte (ya que el propio polvo suelto de la zona realiza el trabajo de soporte durante la construcción de la pieza), lo que permite geometrías muy complejas y canales internos complicados.

Desventajas: Las máquinas y materiales (polvos) son más caros que FDM o SLA, trabajar con polvo requiere un medio controlado y medidas de seguridad (la inhalación de polvos finos puede ser peligrosa) y en el post-proceso hay que limpiar las piezas para eliminar el polvo sobrante.

### **MJ (*Material Jetting*) / Lanzamiento de Materiales:**

Su funcionamiento es similar al de las impresoras tradicionales de inyección (impresoras de papel 2D), pero en lugar de tinta lanza gotas muy pequeñas de materiales fotopoliméricos líquidos (nivel píco-litros) desde un cabezal de impresora con cientos de boquillas a la plataforma de



construcción. Estas gotas se endurecen por medio de una luz UV casi inmediatamente después de ser depositadas.

Ventajas: La combinación de piezas multicolor y materiales diferentes (por ejemplo, materiales rígidos y flexibles) proporciona una capacidad única para crear en una misma pieza, acabados muy realistas y superficies suaves, con una precisión muy alta. Ideal para hacer prototipos muy realistas.

Desventajas: Los materiales (fotopolímeros específicos) pueden ser caros, el proceso puede ser más lento en comparación con otros, y en la mayoría de los casos necesita soportes (a menudo fabricados con un material diferente y de fácil eliminación, con ceras o materiales de soporte solubles en agua).

### **SLM (*Selective Laser Melting*) / DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*)/Fusión de Lecho de Polvo Metálico (*Powder Bed Fusion - Metals*):**

En funcionamiento es similar al SLS, pero utiliza polvos metálicos (acero inoxidable, aluminio, titanio, superaleaciones como el Inconel, cobre, etc.). Un láser muy potente (normalmente el láser de fibra) funde y fusiona completamente el polvo metálico capa a capa, produciendo piezas totalmente densas. Aunque los términos SLM y DMLS se utilizan frecuentemente de forma intercambiable, DMLS (sinterización) se utiliza técnicamente más con aleaciones, donde las partículas se sinterizan mediante un componente de punto de fusión más bajo, y SLM (fusión) con metales más puros.

Ventajas: piezas metálicas totalmente densas y funcionales, excelentes propiedades mecánicas (a menudo iguales o mejores que las piezas forjadas con tratamientos térmicos adecuados), capacidad de producir geometrías complejas en el metal (canales internos, optimización de peso).

Desventajas: Maquinaria y materiales muy caros, el proceso puede ser más lento, requiere una atmósfera controlada (normalmente gas inerte, argón o nitrógeno, para evitar la oxidación), requiere a menudo un post-proceso complejo y largo (tratamiento térmico de eliminación de tensiones internas, eliminación de soportes metálicos, normalmente por mecanizado, y muchas veces mecanizado o pulido de la superficie para conseguir la tolerancia y el acabado necesario).

### **DED (*Direct Energy Deposition*) / Depósito Directo de Energía:**

Tecnología en la que el material (metal en polvo lanzado desde una boquilla o hilo metálico) y la fuente de energía concentrada (láser potente, rayo electrón o arco de plasma) se focalizan simultáneamente y en el mismo punto. El material se funde y solidifica creando capas, bien construyendo nuevas piezas desde el vacío, bien reparando piezas ya existentes o añadiendo material a ellas (por ejemplo, recuperar superficies desgastadas o añadir nuevas características).

Ventajas: La alta tasa de adición de materiales (más rápida que otras tecnologías metálicas para piezas grandes) tiene la capacidad de crear o reparar piezas grandes y muy grandes. En teoría se



puede utilizar cualquier metal soldable. LENS (*Laser Engineered Net Shaping*) y EBAM (*Electron Beam Additive Manufacturing*) son dos tipos de DED conocidos y comercializados.

Desventajas: La precisión y el acabado superficial puede ser inferior al de otros métodos (crea piezas "*near-net-shape*", es decir, cercanas a la forma final pero que requieren mecanizado adicional), con frecuencia requiere post-proceso (mecanizado).

## **Mitos más comunes sobre fabricación aditiva**

Al tratarse de una tecnología relativamente nueva y que evoluciona rápidamente, en torno a la fabricación aditiva han surgido ciertas creencias erróneas, expectativas excesivas o mitos. Es importante aclararlos para tener una comprensión realista de la tecnología:

### **Mito: "La fabricación adicional sustituirá a todos los métodos convencionales."**

Esto no es del todo correcto y no va a ocurrir a corto o medio plazo. La fabricación aditiva es un instrumento potente y complementario, pero no siempre es la mejor solución para todas las situaciones. Los métodos convencionales (inyección, mecanizado, etc.) siguen siendo muy eficaces y económicos, sobre todo en grandes series y geometrías más simples. El futuro está probablemente en la sinergia e hibridación entre tecnologías: por ejemplo, crear una pieza con fabricación aditiva (por su complejidad) y luego mecanizarla para obtener acabados críticos de precisión, o hacer un molde con fabricación aditiva y luego utilizarla en un proceso de inyección. Cada uno tiene su nicho y sus puntos fuertes.

### **Mito: "Cualquier geometría, de cualquier complejidad, se puede imprimir sin problemas."**

A pesar de ofrecer una gran libertad de diseño, cada tecnología tiene sus limitaciones (propiedades del material utilizado, espesores mínimos de pared, ángulos máximos para imprimir sin soporte, resolución de impresión, etc.). El diseño debe optimizarse para la fabricación aditiva (*DfAM - Design for Additive Manufacturing*), teniendo en cuenta las particularidades de la tecnología. Además, muchas tecnologías necesitan estructuras de soporte que condicionan el diseño, consumen material y tiempo extra y que en el post-proceso se retiran cuidadosamente sin dañar la pieza.

### **Mito: "Las tecnologías de fabricación aditiva son muy parecidas entre sí y hay pocos materiales disponibles."**

Como hemos visto, existen familias tecnológicas muy diferentes (extrusión, fotopolimerización, lecho de polvo...) con sus respectivos principios de trabajo, ventajas e inconvenientes. La oferta de materiales puede ser más limitada que la de los métodos convencionales, pero en la actualidad el abanico de materiales es cada vez más amplio (abundancia de termoplásticos, resinas fotopoliméricas con diferentes propiedades, múltiples aleaciones metálicas, cerámicas,



composites...) y la investigación y el desarrollo en este campo está siendo constante, sacando al mercado nuevos materiales y con propiedades mejoradas.

### **Mito: "Las piezas obtenidas con la fabricación aditiva tienen peor calidad."**

Al igual que cualquier otro método de fabricación, la calidad de la pieza obtenida dependerá de la tecnología específica utilizada, la calidad y calibración de la máquina, el material utilizado, la selección precisa de los parámetros de proceso y el post-proceso realizado. La elección de las tecnologías, materiales y procesos adecuados permite obtener piezas de calidad totalmente funcionales, en algunos casos similares o mejores a las obtenidas con los métodos tradicionales.

### **Mito: "La fabricación aditiva siempre es más cara."**

En las fabricaciones de tirada muy baja (prototipos, piezas únicas...) o de geometría muy compleja, la fabricación aditiva puede ser económicamente más adecuada en comparación con los métodos tradicionales. Estas últimas requieren, en muchas ocasiones, inversiones iniciales elevadas, un coste que, si se atribuye a un pequeño número de piezas, aumenta enormemente el coste unitario. La fabricación aditiva evita esta inversión inicial. Sin embargo, para las grandes series, debido al coste del material y de la hora de máquina, la fabricación aditiva puede ser más cara. El análisis de coste real debe tener en cuenta el ciclo de vida completo de la pieza ("*total cost of ownership*"), el diseño, los materiales, la producción, el post-proceso, así como los posibles beneficios en la cadena de suministro (por ejemplo, reducción de stock).

En resumen, la fabricación aditiva es un poderoso conjunto de tecnologías en constante desarrollo que ofrecen nuevas oportunidades a la industria, la ciencia y la sociedad en general. Comprender bien sus ventajas, limitaciones y aplicaciones potenciales es fundamental para aprovechar de forma inteligente y eficiente todo su potencial.

*(última actualización: 28/05/2025)*

Viceconsejería de Formación Profesional del Gobierno Vasco. Este trabajo cuenta con la Autorización Internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0).

