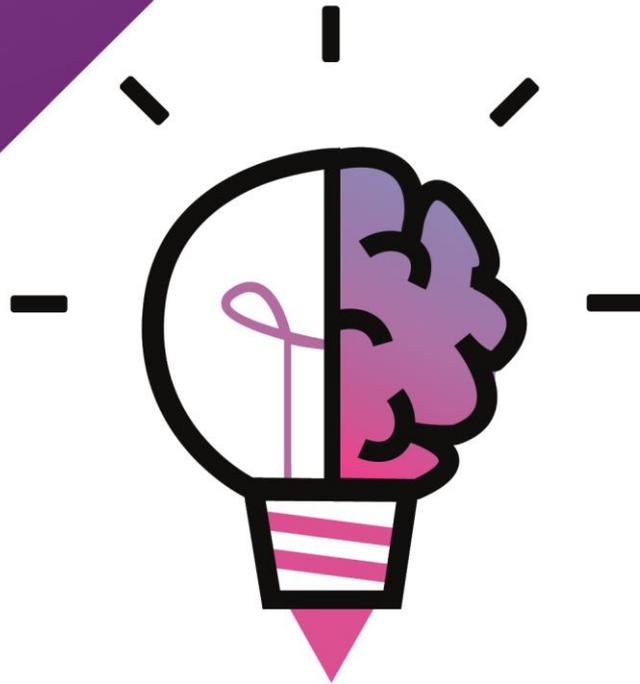




Erasmus+



# 3D4ELDERLY

PROJECT NUMBER: 2020-1-LT01-KA204-077896

IO1A2 - Identificación de las tecnología de impresión 3D más aptas para el contexto de las personas mayores y el Alzheimer.

CONSORTIUM OF PARTNERS:



«El apoyo de la Comisión Europea para esta publicación no supone un respaldo de los contenidos, que reflejan únicamente el punto de vista de los autores. La Comisión no se hace responsable de cualquier uso que se le pueda dar a la información contenida.»



## Índice de contenidos

<b>Índice de contenidos</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Modelado por Deposición Fundida (MDF)</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Proceso y descripción</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Impresoras y materiales</b>	<b>5</b>
<b>3. Estereolitografía (SLA)</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Proceso y descripción</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Impresoras y materiales</b>	<b>10</b>
<b>4. Sinterizado selectivo por láser (SLS)</b>	<b>12</b>
<b>4.1. Proceso y descripción</b>	<b>12</b>
<b>4.2. Impresoras y materiales</b>	<b>14</b>
<b>5. ¿Por qué el MDF?</b>	<b>15</b>



## 1. Introducción

El objetivo del proyecto 3D4ELDERLY es, entre otros, formar a los cuidadores y a las personas que trabajan con personas con Alzheimer y demencia en el uso de las impresoras 3D, y en los tipos principales de tecnologías que oferta el mercado. Para ello, hay que prestar especial atención y es fundamental identificar las tecnologías que mejor se adaptan a ellos.

Se deben tener en cuenta muchos criterios. Hay que conocer bien la precisión de la tecnología de impresión 3D, el coste relacionado con este proceso, la complejidad de uso, las áreas de aplicación, ejemplos, etc. El resultado de este análisis se recoge en este informe.

Como resultado de un estudio interno previo, se han seleccionado tres tecnologías de impresión 3D, que son:

- **Modelado por Deposición Fundida (MDF)**
- **Estereolitografía (SLA)**
- **Sinterizado selectivo por láser (SLS)**



Figura 1. Las piezas obtenidas de las tecnologías de MDF, SLA y SLS. Fuente: <https://elmundo3d.com/wp-content/uploads/elementor/thumbs/comparativa-fdm-sla-2--o92mz5e8wvraguk57d2rzf2ju3kjcghqk3824oyna4.jpeg>

A continuación se describen estas tecnologías más a fondo, abordando el propio proceso, la máquina y los materiales disponibles en el mercado e indicando los costes relativos.

## 2. Modelado por Deposición Fundida (MDF)

### 2.1. Proceso y descripción

El Modelado por Deposición Fundida (MDF), también conocido como Fabricación de Filamento Fundido (FFF), es un proceso de fabricación aditiva en el que se construye un objeto mediante la deposición selectiva capa a capa de un material fundido en una figura previamente definida. Los materiales que se emplean son polímeros termoplásticos y se compran en forma de filamentos.

El MDF es la tecnología de impresión cuyo uso está más extendido. Suele ser además la primera tecnología a la que la gente se acerca.

El proceso de fabricación de MDF comienza cargando un carrete de filamento termoplástico sobre la impresora. Para ello, la temperatura de la boquilla tiene que ajustarse a la temperatura que el material necesita. El filamento se conecta al cabezal de extrusión y a la boquilla, en donde se funde.

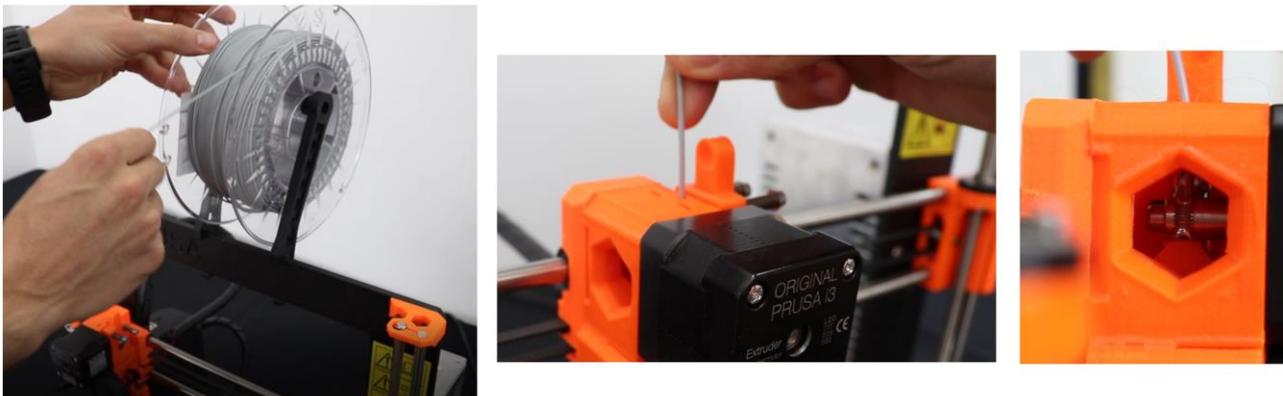


Figura 2. Colocación del carrete con el material en la impresora 3D. Fuente: CETEM.

Todas las impresoras de MDF llevan el cabezal de extrusión unido a un sistema de tres ejes que permite el movimiento en las direcciones X, Y y Z. El material fundido se extruye y se deposita capa a capa en la ubicación seleccionada, entonces se enfría y se solidifica.

Para rellenar un área hace falta que la boquilla pase en repetidas ocasiones por encima. Cuando se finaliza una capa, la cama de impresión se mueve hacia abajo (o en otras impresoras, es el cabezal el que se mueve) justo la altura de una capa y entonces se empieza a depositar el material de la nueva capa. Este proceso se repite una y otra vez hasta que la pieza está terminada.

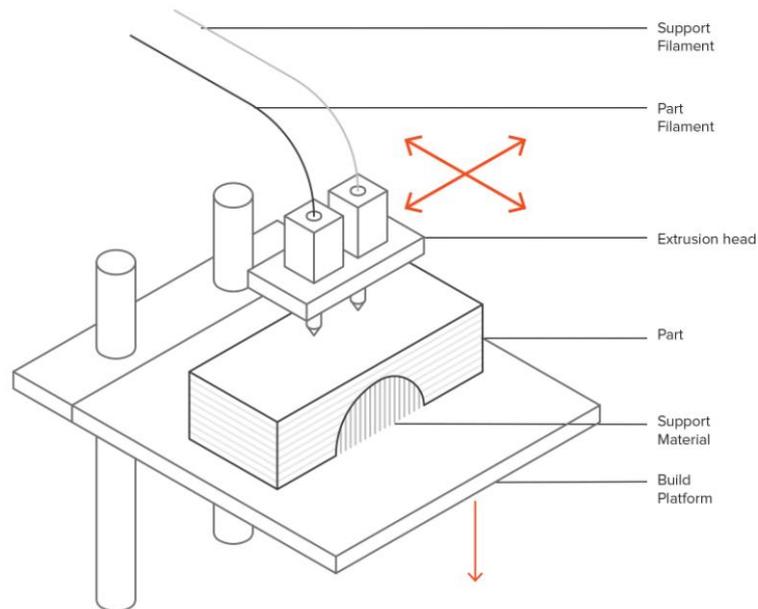


Figura 3. Esquema del proceso de MDF. Fuente: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

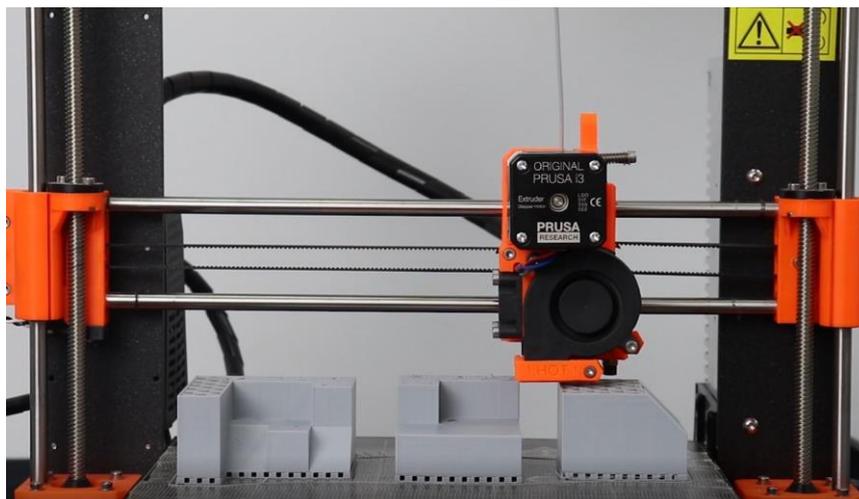


Figura 4. Impresora de MDF en funcionamiento. Fuente: CETEM.

## 2.2. Impresoras y materiales

En lo que a las **impresoras** se refiere, necesitamos hacer una distinción entre impresoras de MDF de sobremesa e industriales. Las diferencias principales son:

- **Precisión estándar:**  $\pm 0,15\%$  en impresoras industriales, frente a  $\pm 1\%$  en impresoras MDF sobremesa.
- **Esesor o altura típica de capa:** 0,18-0,5 mm en impresoras MDF industriales y 0,1-0,25 mm en impresoras sobremesa.

- **Capacidad máxima de construcción de la envolvente:** hasta 900x600x900 mm en impresoras industriales y hasta 200x200x200 mm en sobremesa.
- **Materiales:** las impresoras industriales utilizan un mayor abanico de materiales ya que el extrusor y la cama pueden alcanzar otras temperaturas.
- **Precios:** en este punto las diferencias son notables. Las impresoras industriales MDF pueden variar entre 10.000€ y >50.000€. Las impresoras sobremesa son más baratas y se pueden encontrar precios entre 300€ y 5000€.

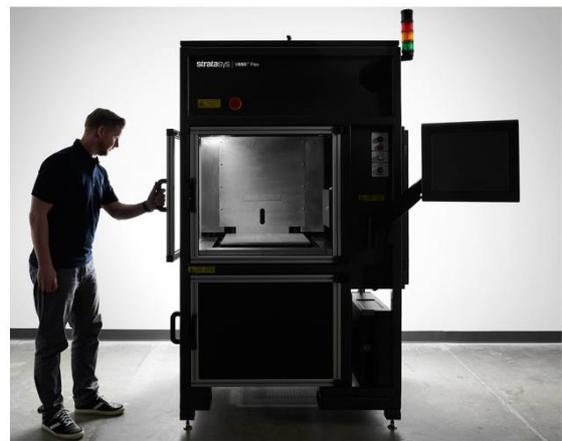


Figura 5. Impresora sobremesa MDF (izquierda) e impresora industrial MDF (derecha). Fuente: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/industrial-vs-desktop-fdm/photo3.jpg> Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/stratasys-v650-flex-sla-f120-010320192/>

En lo que a la precisión se refiere, las impresoras 3D MDF industriales suelen conseguir piezas con una mayor precisión que las sobremesa, puesto que el control es más minucioso con los parámetros del proceso que sigue durante la impresión. Las impresoras industriales pasan un algoritmo de calibrado antes de cada impresión, incluyen una cámara caliente para minimizar los efectos de un enfriamiento rápido del plástico fundido. Con todo, las impresoras 3D MDF sobremesa están recuperando terreno y hay algunas que incluyen estas características avanzadas (p.ej. algoritmos de calibrado, cámara caliente, temperaturas de impresión más altas y extrusión dual). Una impresora MDF sobremesa básica bien calibrada puede generar piezas con una precisión dimensional bastante alta (normalmente tolerancias de  $\pm 0,5$  mm) y con un tamaño mínimo idéntico a las impresoras industriales MDF (p.ej. aproximadamente 1 mm). Esta precisión es suficiente para la mayoría de aplicaciones.

Ahora, si nos centramos en los **materiales** para impresoras MDF 3D, es conveniente señalar que una de las ventajas del MDF es el amplio abanico de materiales disponibles. Podemos encontrar desde termoplásticos básicos (como el PLA o el ABS) a materiales de ingeniería (como la PA, el TPU y el PETG) y termoplásticos de alto rendimiento (como la PEEK y la PEI).

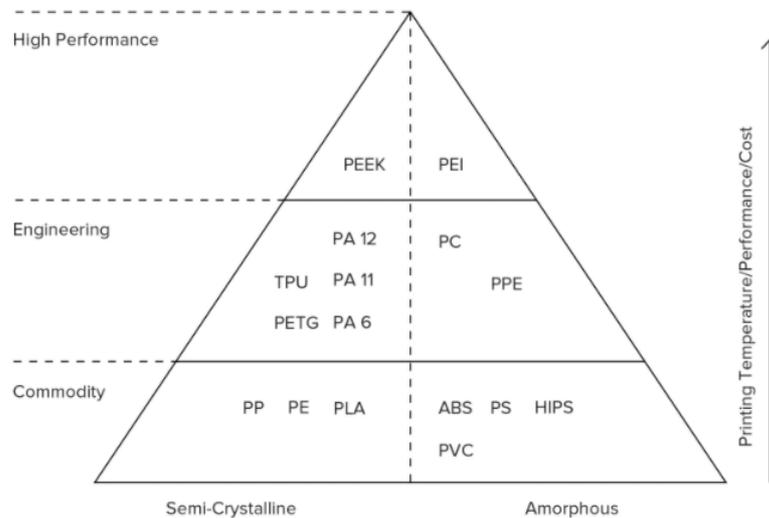


Figura 6. Materiales termoplásticos en MDF. Fuente: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

El material que más se usa en las impresoras 3D sobremesa de MDF es el PLA. La impresión con PLA es fácil y el material puede conseguir detalles muy bellos. Así, cuando se necesita una mayor resistencia, ductilidad y estabilidad térmica, se usa el ABS. El ABS tiende más a deformarse (por contracción) y la geometría de las piezas puede limitar su uso, especialmente en impresoras que no tienen una cámara caliente.

Las impresoras industriales 3D de MDF suelen utilizar plásticos de ingeniería (ABS), policarbonato (PC) o (Ultem). Estos materiales suelen cargarse con ciertos aditivos que alteran sus propiedades y los convierten en especialmente útiles para ciertas necesidades industriales (p.ej. resistencia a los altos impactos, estabilidad térmica, resistencia química y biocompatibilidad).



Figura 7. Distintos rollos de materiales para MDF. Fuente: <https://cdn2.sculpteo.com/wp-content/uploads/2019/06/Filaments2.jpg>

En lo que al precio de estos materiales ocupa, se venden en forma de rollos de filamento (aunque algunas impresoras pueden funcionar con bolas de plástico). Por ejemplo, 1 kg de PLA cuesta unos 20€. El ABS básico ronda los 20€ el kilo. Otros plásticos de ingeniería tienen precios más altos: 1 kg de PC (policarbonato) ronda los 60€.

### 3. Estereolitografía (SLA)

#### 3.1. Proceso y descripción

La estereolitografía (SLA) es un proceso de fabricación aditiva que crea objetos a partir del curado selectivo de una resina polimérica capa a capa usando un rayo láser ultravioleta (UV). Los materiales que se emplean en esta tecnología son polímeros termoestables fotosensibles que están en su forma líquida.

Otras tecnologías similares, como el procesado digital de luz (DLP) son muy similares, pero la diferencia es que esta última usa una pantalla de luz digital en lugar de un rayo láser UV para curar la resina. Buscando simplificar pueden tratarse ambas tecnologías como iguales.

Si se busca fabricar piezas con alta precisión y superficies lisas, entonces la SLA es la tecnología de impresión 3D más rentable que existe.

El proceso con la tecnología SLA es el siguiente. En primer lugar, la cama de impresión se encuentra sobre un tanque lleno del fotorpolímero líquido, a la distancia de una capa de la superficie del líquido. El láser UV crea una capa mediante un curado selectivo y solidifica la resina fotorpolimérica. El rayo láser se centra en seguir el modelo predeterminado usando distintas formas según la impresora. Por ejemplo, puede usar espejos.

Existen dos tipos de impresoras SLA: las impresoras SLA que imprimen de arriba abajo y las que imprimen de abajo arriba. En las primeras, las piezas se construyen bocabajo. El tanque tiene un fondo transparente revestido de silicona que permite que la luz del láser lo atraviese, pero que evita que la resina curada se pegue al fondo. Después de cada capa, se separa la resina curada de la superficie del tanque conforme la plataforma o cama se desplaza hacia arriba. En este paso se despega la pieza del fondo del tanque.

La orientación de abajo arriba se usa principalmente con impresoras sobremesa, mientras que la de arriba abajo suele emplearse más en sistemas SLA industriales. Las impresoras SLA de abajo arriba convierten la fabricación y el uso en una tarea más sencilla, pero el tamaño del objeto es más limitado ya que las fuerzas que se aplican sobre la pieza para despegarla pueden hacer que la impresión falle. No obstante, las impresoras de arriba abajo pueden escalar el tamaño y aumentarlo mucho sin perder mucha precisión. Las capacidades avanzadas de estos sistemas se pagan con un alto coste.

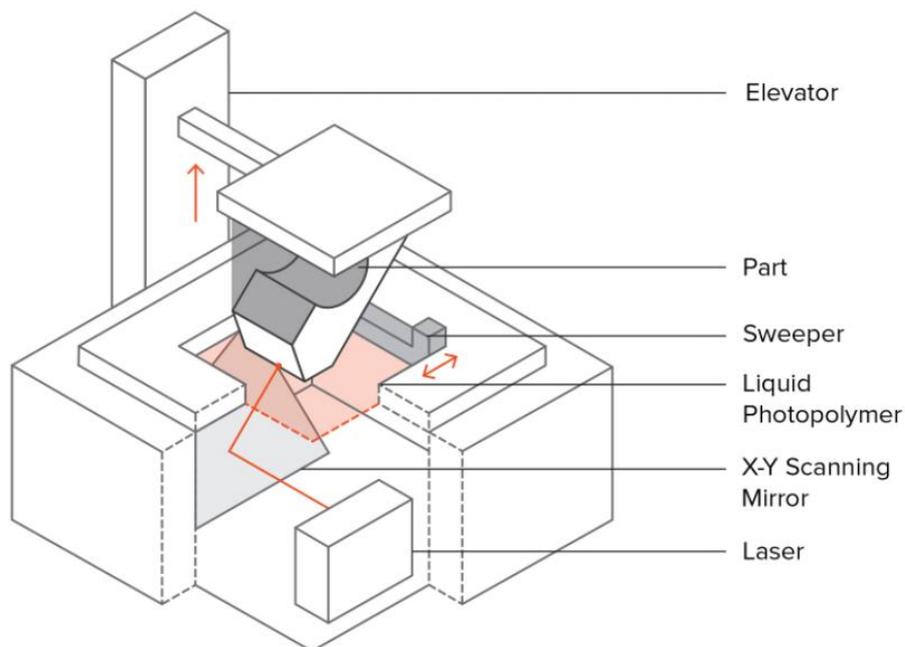


Figura 8. Esquema de una impresora SLA de arriba abajo. Fuente: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>

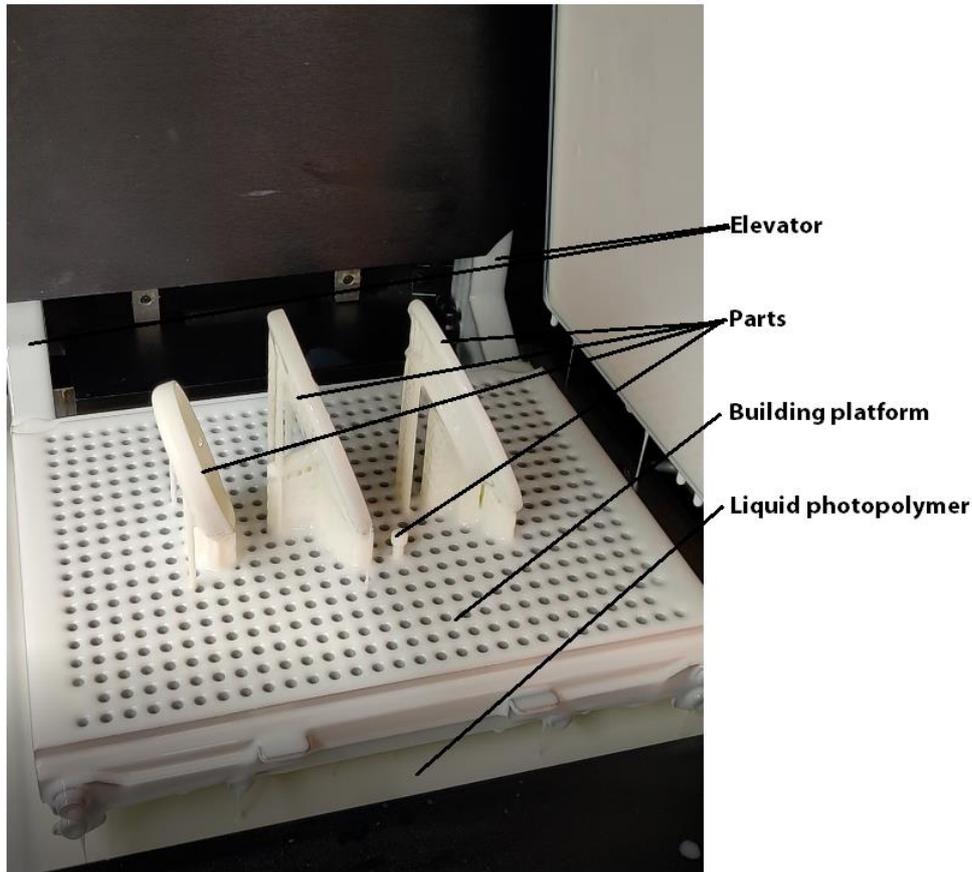


Figura 9. Impresora 3D de DLP (similar a la SLA), con una pieza recién impresa. Fuente: CETEM.

### 3.2. Impresoras y materiales

Como ocurre con la tecnología MDF, entre las impresoras 3D de SLA se debe distinguir las que son de sobremesa de las industriales. Las diferencias principales entre ellas son:

- **Capacidad de construcción:** las impresoras de sobremesa tienen una capacidad de hasta 145x145x175 mm, mientras que la capacidad de las industriales alcanza los 1500x750x500 mm.
- **Altura de capa usual:** en ambos tipos de impresoras SLA es de 25 a 100 micrómetros (0,025 - 0,1 mm).
- **Precisión:** la precisión dimensional de las impresoras sobremesa es de  $\pm 0,5\%$ , pero en impresoras industriales es de  $\pm 0,15\%$ .
- **Precios:** en este punto las diferencias son notables. Mientras que una impresora SLA de sobremesa puede rondar los 2.000€ y hasta 6.000€, las industriales pueden llegar a precios como los 500.000€.



Figura 10. Impresora SLA de sobremesa (izquierda) vs. impresora SLA industrial (derecha). Fuente: [https://formlabs-media.formlabs.com/filer\\_public\\_thumbnails/filer\\_public/be/50/be501495-9972-4536-9d27-57c0375b16a7/03062019\\_daguerre\\_1\\_565.jpg\\_\\_1354x0\\_q85\\_subsampling-2.jpg](https://formlabs-media.formlabs.com/filer_public_thumbnails/filer_public/be/50/be501495-9972-4536-9d27-57c0375b16a7/03062019_daguerre_1_565.jpg__1354x0_q85_subsampling-2.jpg) Fuente: [https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case\\_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology\\_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i](https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i)

En lo referente a los **materiales** que usa esta tecnología, una de las mayores ventajas de la SLA industrial frente a la de sobremesa es la cantidad de materiales que pueden utilizar las impresoras industriales. Las impresoras de sobremesa dan cabida a las resinas flexibles; por su parte, las industriales aceptan el uso de un gran abanico de resinas flexibles con propiedades mecánicas muy diversas (dureza de Shore, temperaturas altas, etc.).

Los materiales SLA vienen en forma de resina líquida. El precio por litro de resina varía muchísimo, desde unos 50\$ por un material usual, hasta los 400\$ por un material especial como sería la resina maleable o dental. Los sistemas industriales ofrecen una variedad de materiales mayor que las impresoras sobremesa en SLA y le aportan al diseñador un mayor control sobre las propiedades mecánicas de la pieza impresa.

Los materiales de SLA (termoestables) son más frágiles que los producidos por MDF o SLS (termoplásticos); por esta razón, las piezas impresas con SLA no se suelen usar como prototipos funcionales que soporten grandes cargas. El progreso en los materiales podría cambiar este hecho en un futuro.



Figura 11. Materiales de SLA. Fuente: <https://manufactur3dmag.com/wp-content/uploads/2018/05/Formlabs-Clear-Resin-300x214.jpg> Fuente: <https://5.imimg.com/data5/YL/QO/MY-11147533/dlp-sla-3d-printer-resin-500x500.jpeg>

Los materiales más usuales son: resina estándar (superficie suave de acabados pero relativamente frágil), resinas claras (transparentes, pero requieren un postprocesado), resinas maleables (usadas para crear moldes), resinas dentales (biocompatibles pero con un coste elevado), resinas duras y duraderas (propiedades mecánicas similares al ABS y PP), etc.

## 4. Sinterizado selectivo por láser (SLS)

### 4.1. Proceso y descripción

El sinterizado selectivo por láser (SLS) es un proceso de fabricación aditiva en el que un láser sinteriza las partículas de polvo de un polímero de manera selectiva, las funde y genera una pieza capa a capa. Esta tecnología usa unos materiales que vienen en forma granular y son polímeros termoplásticos.

Esta tecnología se usa en prototipos, pero también para componentes de polímeros funcionales y fabricación de lotes pequeños. Ofrece una libertad de diseño muy alta, alta precisión y consigue piezas con buenas propiedades mecánicas consistentes, al contrario que el MDF o la SLA.

El proceso de fabricación del SLS consiste en los siguientes pasos: primero el recipiente con polvo y el área de impresión se calientan justo por debajo del punto de fusión del polímero. Entonces, una hoja distribuye una nueva capa de polvo sobre la superficie de la plataforma (justo con la altura de una capa). Después, un láser de CO<sub>2</sub> sinteriza (funde) de manera selectiva las partículas de polvo y crea una capa rígida del objeto. Cuando se termina una capa, la plataforma se mueve hacia abajo y la hoja recubre la superficie con más polvo. Este proceso se repite una y otra vez hasta que la pieza está terminada.

Al finalizar el proceso, la pieza o piezas están totalmente inmersas en el polvo. Una vez el recipiente se ha enfriado, se puede sacar la pieza y limpiarla con aire comprimido. Una de las mayores ventajas de este proceso es que el polvo sin sinterizar se puede recoger para usarlo de nuevo más tarde.

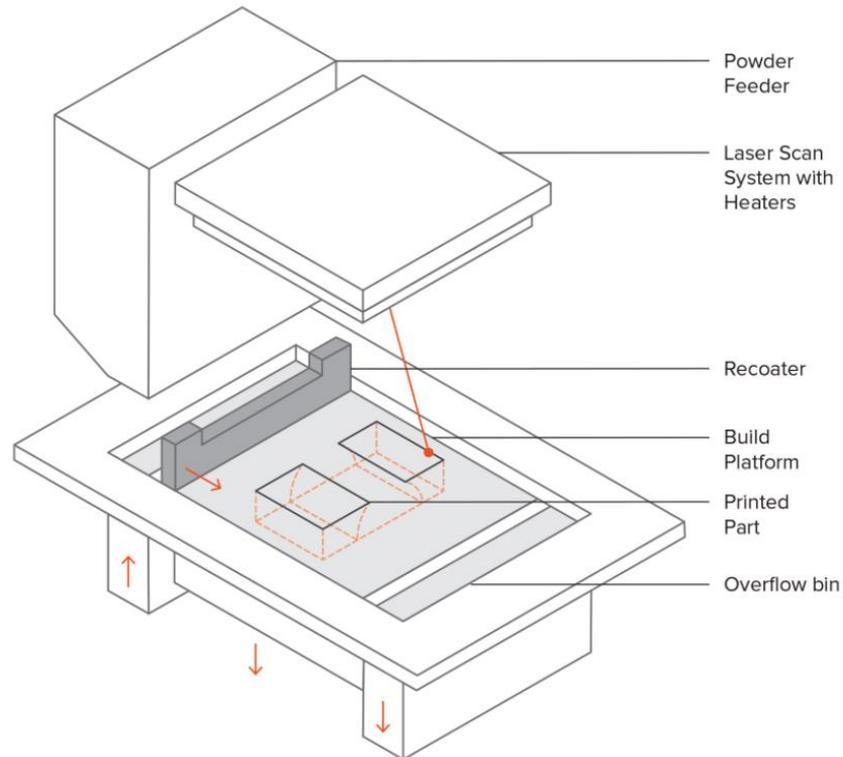
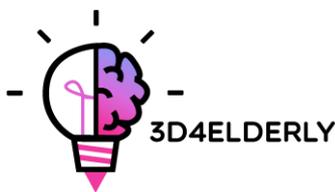


Figura 12. Esquema de la tecnología de impresión 3D SLS. Fuente: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/>



Figura 13. Extracción y limpieza de piezas en una impresora 3D SLS. Fuente: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp->



*content/uploads/2018/11/05175257/cleaning-the-powder-off-a-batch-of-items-printed-with-mjf-hp-youtube-181105.jpg*

## 4.2. Impresoras y materiales

De nuevo, así como ocurría con el MDF y la SLA, en lo que respecta a **impresoras SLS**, podemos hablar de impresoras de sobremesa e industriales.

Casi todos los parámetros de los procesos del SLS vienen predefinidos por la impresora del fabricante. La altura de capa por defecto que se usa es de 100-120 micrómetros.

Cuando hablamos de precisión en las dimensiones, en la mayoría de las impresoras se mueve en  $\pm 0,3\%$ .

La capacidad de construcción de las impresoras SLS de sobremesa es de hasta 180x180x300 mm. Por el contrario, las impresoras SLS industriales alcanzan hasta los 600x600x500 mm. Sacarle partido al volumen completo es muy importante a la hora de imprimir con SLS sobre todo en lotes de productos pequeños. La impresión en un recipiente de una determinada altura dura el mismo tiempo tenga más piezas o menos. Esto se debe a que el paso de recubrir con polvo define el tiempo total del proceso (el escaneo láser ocurre muy rápido) y la máquina tiene que atravesar el mismo número de capas en su ciclo. El relleno del recipiente puede afectar a los plazos en lotes pequeños, ya que los operarios suelen esperar hasta que el recipiente se llena antes de empezar la impresión.

Una ventaja clave del SLS es que no necesita estructuras de apoyo. El polvo sin sinterizar supone ya un apoyo para el resto de la pieza que se está fabricando. Por ello, el SLS se puede usar para crear geometrías libres que serían imposibles de fabricar con otros métodos.

La porosidad es un factor importante ya que le aporta a las piezas de SLS su característico acabado superficial granulado. También es sinónimo de que la pieza puede absorber agua, así que es fácil tintarlas en un baño caliente con un gran abanico de colores, pero también es necesario un postprocesado si se van a situar en un entorno húmedo.

El coste de estas impresoras es alto, las más baratas rondan los 12.000€ y la más cara es similar al precio de una de SLA.

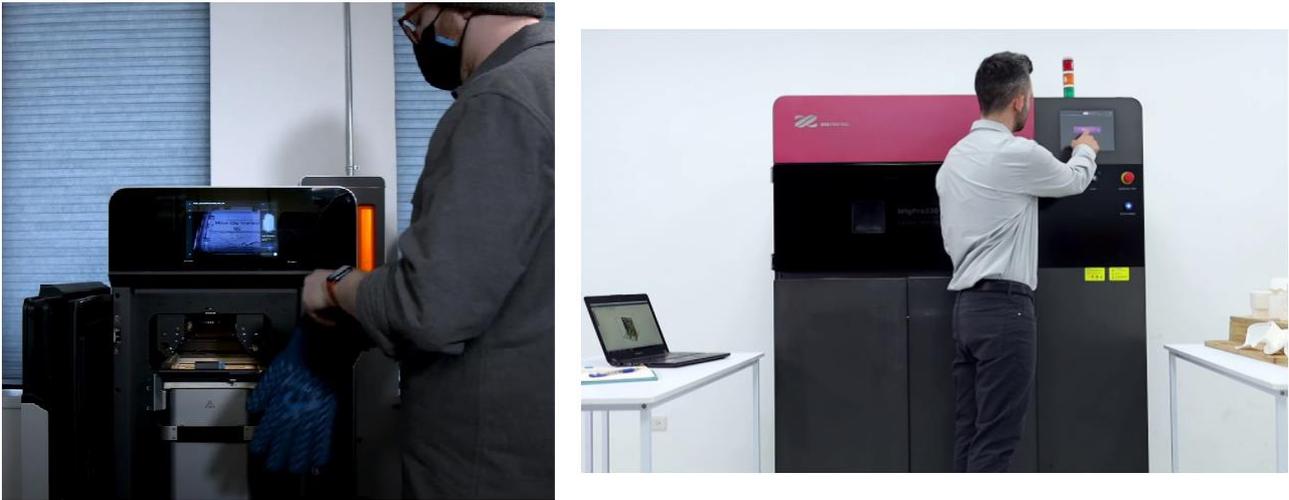


Figura 14. Impresora 3D con tecnología SLS sobremesa (izquierda) e industrial (derecha). Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=oiEL4BGXQss> Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/Y7Nj5NmTdEo/maxresdefault.jpg>

El **material** más usado en SLS es la poliamida 12 (PA 12), también conocida como nailon 12. El precio de polvo de PA 12 por kilogramo es de unos 50-60\$. Otros termoplásticos de ingeniería como la PA 11 o la PEEK también están disponibles pero no se usan tanto.

El polvo de poliamida se puede rellenar con distintos aditivos (como la fibra de carbono o aluminio) para mejorar el comportamiento mecánico y térmico de las piezas fabricadas con esta tecnología. Los materiales que llevan aditivos suelen ser más frágiles y pueden tener un comportamiento altamente anisótropo.

## 5. ¿Por qué el MDF?

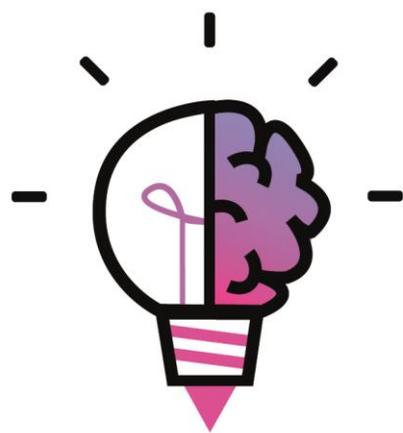
Finalmente, vamos a exponer los beneficios del Modelado por Deposición Fundida (MDF) y de las razones por las que esta tecnología debería ser la más adecuada para los propósitos del proyecto 3D4ELDERLY.

Las principales razones y ventajas de la tecnología MDF son las siguientes:

- ✓ MDF es la forma más rentable de fabricar prototipos y piezas termoplásticas a medida.
- ✓ Los plazos con MDF son cortos (tan rápidos como una entrega al día siguiente), debido a la disponibilidad de esta tecnología.



- ✓ Se trata de una tecnología de impresión barata y accesible. Por esta razón es perfecta para gente que se inicia en la impresión 3D. Es la tecnología de prototipado rápido más usada porque es muy accesible.
- ✓ Hay una gran variedad de materiales termoplásticos, de colores y son aptos para aplicaciones funcionales y de prototipado también.
- ✓ Las impresoras MDF suelen ser intuitivas.
- ✓ La capacidad de construcción es muy grande en la mayoría de impresoras MDF sobremesa. El tamaño típico de una impresora sobremesa es de unos 20x20x20cm, que es un buen tamaño para las piezas impresas.
- ✓ Usarla es seguro. En comparación con la SLA o el SLS, es una tecnología segura porque no causa daños. El SLS conlleva altas temperaturas y puede ser peligroso, y algunos materiales de SLA pueden generar alergias en la piel.



**3D4ELDERLY**

CONSORTIUM OF PARTNERS:

